



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISA KEANDALAN *J-TUBE CLAMP* TERHADAP
TEGANGAN LOKAL MAKSIMUM: STUDI KASUS W
*PLATFORM***

Dwi Lestari

NRP. 4314 100 040

Dosen Pembimbing :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA.

Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - MO141326

**J-TUBE CLAMP RELIABILITY ANALYSIS ON MAXIMUM
LOCAL STRESS: CASE STUDY W PLATFORM**

Dwi Lestari

NRP. 4314 100 040

Supervisors :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA.

Department of Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KEANDALAN *J-TUBE CLAMP* TERHADAP TEGANGAN LOKAL MAKSIMUM: STUDI KASUS W *PLATFORM*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi
Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Dwi Lestari
NRP. 4314100040

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 1)

2. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA. (Pembimbing 2)

3. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

Surabaya, Januari 2018

ANALISA KEANDALAN J-TUBE CLAMP TERHADAP TEGANGAN LOKAL MAKSIMUM: STUDI KASUS W PLATFORM

Nama Mahasiswa : Dwi Lestari
NRP : 4314100040
Departemen : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Rudi Walujo Prastiantio, S.T., M.T.
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA.

ABSTRAK

Analisis keandalan diperlukan dalam perencanaan penambahan fasilitas. Pada penelitian ini dilakukan analisis keandalan dilakukan secara lokal pada J-tube dan clamp yang berfungsi untuk menyokong *umbilicals* pada struktur W Platform. Terdapat gaya dan tegangan yang bekerja pada struktur akibat adanya beban lingkungan serta beban dari struktur itu sendiri. Hasil penelitian berupa indeks keandalan clamp terhadap *von Mises* terbesar yang terjadi diantara 6 buah clamp. Dari hasil analisis lokal diketahui bahwa tegangan *von Mises* paling besar terjadi pada J-tube 2 untuk clamp dengan elevasi (+) 4.178 m sebesar 57.33 MPa. Penilaian keandalan dilakukan dengan metode *Advanced First Order Second Moment* untuk mengetahui indeks keandalan yang terjadi akibat penambahan *umbilicals*. Indeks keandalan J-tube clamp terhadap tegangan *von Mises* yang terjadi sebesar 2.4. Berdasarkan API RP 2A – *Load and Resistance Factor Design* indeks keandalan untuk sambungan adalah sebesar 2.5, sehingga dapat dikatakan struktur J-tube clamp belum memenuhi kriteria desain LRFD.

Kata kunci: J-tube clamp, analisis lokal, tegangan, indeks keandalan

J-TUBE CLAMP RELIABILITY ANALYSIS ON MAXIMUM LOCAL STRESS: CASE STUDY W PLATFORM

Name : Dwi Lestari
NRP : 4314100040
Departement : Teknik Kelautan – FTK ITS
Supervisors : Dr. Eng. Rudi Walujo Prastiantio, S.T., M.T.
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA.

ABSTRACT

Reliability analysis is required in the planning of additional facilities. In this research, reliability analysis is done locally on J-tube and clamp which serve to support subsea cables on W Platform. There are forces and stresses acting on the structure due to the environmental load and the load of the structure itself. The result of the research is clamp reliability index to maximum von Mises stress that occurs between 6 clamps. From the results of local analysis it is known that the maximum von Mises stress occurs on J-tube 2 for clamp with elevation (+) 4.178 m of 57.33 MPa. Assessment of reliability is done by Advanced First Order Second Moment method to find out the reliability index that occurs due to the addition of umbilicals. The reliability index of J-tube clamp structure with maximum von Mises stress analysis is 4.33. Based on API RP 2A - Load and Resistance Factor Design, reliability index for connection is 4.5, so it can be said that J-tube clamp structure has not fulfilled LRFD design criteria.

Kata kunci: *J-tube clamp*, local analysis, stress, reliability index

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan ridhoNya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Tidak lupa shalawat serta salam penulis haturkan kepan junjungan Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini berjudul “Analisa Keandalan *J-tube clamp* terhadap Tegangan Lokal Maksimum: studi kasus W Platform”. Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Dalam tugas akhir ini dibahas mengenai indeks keandalan pada *J-tube clamp* terhadap tegangan maksimum yang dihasilkan dari analisis lokal.

Dalam pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini tentu penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 2018

Dwi Lestari

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini. Ucapan terimakasih diberikan penulis kepada:

1. Allah *subhanallahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan berkah dan rahmat-Nya serta tiada hentinya membantu penulis selama masa kerja praktik hingga penyusunan tugas akhir ini.
2. Orangtua penulis, Tri Murtini dan Mulyadi serta saudari-saudari penulis: Eka Murti Rahayu, Fitri Astuti, dan Karin Istianti yang selalu memberikan kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material.
3. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T.,M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan FTK-ITS serta dosen wali dan dosen pembimbing pertama yang telah bersedia membimbing penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA, sebagai dosen pembimbing kedua yang turut meluangkan waktunya bagi penulis untuk asistensi tugas akhir.
5. Ibu Yeti Rohayati dan Ibu Ratna Nita Perwitasari selaku mentor penulis selama kerja praktik di PHE WMO yang telah membantu kelancaran pencarian data serta pemberian saran yang membangun.
6. Sahabat penulis dan teman-teman “yang tertinggal” yaitu, Niken, Karen, Ester, Nining, Adi dan Muariff yang telah banyak membantu dan menguatkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini..
7. Sahabat penulis, Galih Sihwianti, Syhahidna Purna Aulia, dan Ghina Nabila yang telah membantu penulis melewati masa sulit dan secara sabar mendengarkan curhatan penulis yang tiada habisnya.
8. Sahabat penulis selama 3.5 tahun masa perkuliahan “fancy 2.0” yaitu Niken, Karen, dan Farid.
9. Angkatan 2014 Maelstrom, terutama Sela, yang sudah membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.

10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan motivasi.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Sistematika Laporan Tugas Akhir	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	6
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. Dasar Teori.....	7
2.2.1. J-tube	7
2.2.2. Clamp	8
2.2.3. <i>Limit State Design</i>	8
2.2.4. Pembebanan	9
2.2.4. Tegangan Lokal.....	11
2.2.5. Tegangan untuk Member Silinder berdasarkan API RP2A-LRFD	13
2.2.6. Tegangan <i>von Mises</i>	14
2.2.7. <i>Vortex Induced Vibration</i>	15
2.2.8. Metode Elemen Hingga.....	17
2.2.9. <i>Availability</i>	22
2.2.10. <i>Maintainability</i>	22
2.2.11. <i>Down Time Analysis</i>	22
2.2.12. <i>Reliability</i>	23

BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1. Diagram Alir.....	31
3.2. Metodologi Penelitian	32
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Data Struktur	34
4.2. Pembebanan.....	35
4.2.1. Dead Load	36
4.2.2. Beban Lingkungan	37
4.2.3. Vortex Induced Vibration	38
4.3. Analisis Tegangan	39
4.3.1. Pemodelan <i>J-tube Clamp</i> Sebagai Analisa Lokal	39
4.3.2. Validasi Model	41
4.3.3. Analisis Sensitivitas <i>Meshing</i>	41
4.3.4. Analisis Tegangan <i>von Mises</i>	45
4.4. Analisa Keandalan dengan <i>dvanced First Orde Second Moment</i>	47
4.4.1. Analisa Keandalan terhadap Tegangan <i>von Mises</i>	47
BAB V PENUTUP	50
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>J-tube existing</i>	2
Gambar 1. 2. <i>J-tube clamp</i>	2
Gambar 2. 1 Gaya yang terjadi pada <i>Clamp</i>	6
Gambar 2. 2 Lokasi <i>J-tube</i> pada <i>W platform</i>	7
Gambar 2. 3 Detail <i>clamp</i> pada <i>J-tube</i>	8
Gambar 2. 4 Pembebanan momen kopel pada batang tubular	12
Gambar 2. 5 Momen puntiran pada batang tubular.....	13
Gambar 2. 6 Elemen <i>Beam</i>	19
Gambar 2. 7 Elemen <i>Shell</i>	20
Gambar 2. 8 Elemen <i>solid</i> struktur homogen.....	21
Gambar 2. 9 Probabilitas beban dan tahanan	24
Gambar 2. 10 Probabilitas beban dan tahanan	25
Gambar 2. 11 FKP untuk batasan margin	27
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	31
Gambar 4. 1 Desain <i>clamp</i>	34
Gambar 4. 2 PT. <i>X field</i>	37
Gambar 4. 3 Diagram Alir Identifikasi Vortex Induced Vibration	38
Gambar 4. 4 Pemodelan <i>J-tube</i> dengan software ANSYS 16.0.....	39
Gambar 4. 5 <i>Boundary condition</i> pada <i>clamp</i>	40
Gambar 4. 6 Grafik kerapatan meshing pada <i>J-tube clamp</i>	42
Gambar 4. 7 Bentuk meshing kondisi pertama	42
Gambar 4.8 Kontur <i>meshing</i> yang digunakan pada penelitian	43
Gambar 4. 9 <i>Isometric view</i> kontur <i>meshing</i>	44
Gambar 4. 10 Detail <i>meshing</i> pada <i>flange</i>	44
Gambar 4. 11 Detail meshing pada <i>clamp</i>	45
Gambar 4. 12 Hasil analisis tegangan von Mises pada <i>J-tube clamp</i>	46
Gambar 4. 13 Letak tegangan von Mises maximum.....	46
Gambar 4. 14 Kontur tegangan <i>von Mises</i> maksimum	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Pencapaian Produksi Migas Per 30 Juni 2017.....	1
Tabel 4. 1 Ukuran J-tube dan Clamp	34
Tabel 4. 2 Properties J-tube dan Clamp	35
Tabel 4. 3 Properti material J-tube dan Clamp	35
Tabel 4. 4 Beban clamp pada J-tube 1	36
Tabel 4. 5 Beban clamp pada J-tube 2	36
Tabel 4. 6 Beban mati pada J-tube Clamp	36
Tabel 4. 7 Lokasi W Platform	37
Tabel 4. 8 Data Lingkungan.....	37
Tabel 4. 9 Validasi Model.....	41
Tabel 4. 10 Tabulasi variasi meshing pada J-tube clamp.....	42
Tabel 4. 11 Tabulasi variable perubah dasar.....	48
Tabel 4. 12 Hasil iterasi indeks keandalan.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A: *Output* Analisa Global Struktur W *Platform*

LAMPIRAN B: Keandalan dengan Metode AFOSM

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sektor minyak dan gas masih menjadi salah satu andalan pendapatan pemerintah Indonesia. Potensi sumber daya minyak dan gas bumi di Indonesia masih cukup besar untuk dikembangkan. Menurut SKK Migas produksi minyak pada tahun 2017 ditargetkan mencapai 815 ribu. Namun, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.1 pencapaian produksi migas sampai 30 Juni masih belum mencapai angka tersebut. Beberapa langkah untuk dapat mencapai target produksi telah dipersiapkan oleh PT. X Seperti mencari sumber cadangan migas baru, efisiensi biaya operasional, dan penerapan teknologi tepat guna untuk kegiatan pengeboran dan optimasi produksi.

Tabel 1. 1 Pencapaian Produksi Migas Per 30 Juni 2017

PRODUKSI 2017	TARGET		REALISASI YTD JUNI'17	% YTD TERHADAP APBN	% YTD TERHADAP WP&B
	APB N	WP&B ORI			
Minyak, Mbopd	-	808.4	808.8	-	100.1
Gas, Mmscfd	-	7.512	7.512	-	95.6
Migas, Mbopd	-	2.150	2.150	-	97.2

(SKK Migas, 2017)

SKK Migas mengatakan bahwa teknologi yang dapat diterapkan untuk optimasi produksi, diantaranya: *Sand Control Management Technology*, *Water Shut Off Technology*, *Deliquification Technology*, *Artificial Lift Technology*, *Well Tractor for Horizontal & Directional Well Intervention*, *Ultrasonic for Optimum Production*, dan *Real-Time Production Monitoring*. PT. X akan menerapkan teknologi *Artificial Lift* pada bangunan lepas pantai yang dimilikinya. Bangunan

lepas pantai adalah bangunan yang berada di laut dan berfungsi untuk membantu proses eksploitasi minyak dan gas bumi. Bangunan lepas pantai dapat dibedakan jenisnya berdasarkan konstruksi dan lama pemakaiannya (Murdjito, 2013). Salah satu bangunan lepas pantai milik PT. X adalah *W platform* yang terletak di laut utara madura dengan kedalaman 23.25 m.

W platform memiliki 8 sumur pengembangan yang terdiri dari 1 sumur *water injection* dan 7 sumur produksi. Teknologi *artificial lift* berupa ESP akan diterapkan pada 2 sumur, A4 dan A6, yang pada saat ini masih mengandalkan *natural flowing*. Sumber daya pada ESP tersebut dialirkan melalui *subsea cables* yang membentang sepanjang 500 m dari *power barge Z* ke *platform W platform*. Perangkat tambahan tersebut membutuhkan beberapa modifikasi fasilitas berupa penambahan *J-tubes*. *J-tubes* tersebut akan diletakkan didepan *J-tube* yang telah ada, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.1. Geometri struktur *J-tube clamp* pada Gambar 1.1 dapat dilihat secara lebih jelas pada Gambar 1.2, dimana terdapat *stub* untuk menyambungkan kedua *clamp J-tubes* tersebut.



Gambar 1. 1 *J-tube existing*
(Dokumen PT. X)



Gambar 1. 2. *J-tube clamp*
(Dokumen PT. X)

Hal yang sangat penting dalam analisa suatu struktur bangunan lepas pantai saat adanya penambahan / modifikasi dari struktur untuk memenuhi target dan standard desain yang telah ditetapkan (Nuriman, 2012). Struktur akan dihadapkan pada beban-beban lingkungan, antara lain beban angin, gelombang, arus, dll (Veriyanto, 2016). Akibat beban tersebut *J-tube clamp* akan mengalami tegangan yang merupakan respon akibat adanya gaya lateral dan *vertical*. Tegangan yang dihasilkan oleh *J-tube clamp* akan mempengaruhi kekuatan dari *J-tube clamp* itu sendiri dan juga *J-tube existing* yang menghubungkan *clamp* dengan struktur, sehingga kekuatan *J-tube clamp* sangat berpengaruh ketika struktur beroperasi. Tegangan yang terjadi pada *J-tube Clamp* dianalisa menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* ANSYS 16.0.

Untuk mengetahui kapasitas aktual struktur, maka dibutuhkan studi penilaian ulang yang seksama dan teliti. Dalam konteks rekayasa, keandalan berarti sebuah pernyataan tentang besarnya peluang sebuah peralatan atau sistem untuk bekerja tanpa mengalami kegagalan dalam suatu kurun waktu dan lingkungan tertentu (Rosyid, 2007). Analisa keandalan berdasarkan beban ekstrem yang bekerja pada *J-tube clamp* perlu dilakukan untuk dapat mengetahui peluang kegagalan. Beban yang terjadi pada *J-tube clamp* akan menimbulkan tegangan. Tegangan yang bekerja melampaui batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk atau deformasi.

Kriteria keandalan berdasarkan API RP 2A – *Load and Resistance Factor Design* adalah tegangan yang terjadi (kumpulan dari beban-beban yang ditopang) harus lebih kecil dari kekuatan strukturnya. Pada penelitian ini keandalan dihitung dengan metode *Advanced First Order Second Moment*. Keandalan struktur dinilai berdasarkan indeks keandalan (dalam kasus ini adalah *J-tube clamp* terhadap moda kegagalan tegangan *von Mises* yang merupakan kombinasi tegangan-tegangan utama pada suatu elemen). Peluang kegagalan didefinisikan peluang tegangan *von Mises* melampaui kekuatan *yield* struktur.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa tegangan yang terjadi pada *J-tube Clamp*?
2. Berapa indeks keandalan *J-tube clamp* terhadap tegangan *von Mises*?

1.3. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui tegangan yang terjadi pada *J-tube Clamp*.
2. Mengetahui indeks keandalan *J-tube clamp* terhadap *von Mises*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tegangan maksimum pada *J-tube Clamp* akibat penambahan *subsea cables* pada *W platform* dan untuk mengetahui indeks keandalannya. Hasil analisa tersebut akan bermanfaat sebagai bahan pertimbangan dalam desain penambahan *J-tube*.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Struktur *fixed jacket platform* adalah *W Platform*.
2. Analisis global pada struktur *W platform* telah dilakukan sebelumnya, dimana data *output* dijadikan acuan pada analisis lokal.
3. Data lingkungan berdasarkan Metocean Data Integration Report.
4. Beban yang diperhitungkan adalah beban lingkungan dan beban mati.
5. Beban lingkungan berupa arus, angin dan gelombang pada struktur dengan arah *omni directional* yang terjadi 100 tahunan.
6. Beban mati berupa berat struktur *J-tube*, *J-tube clamp* dan berat *umbilicals*.
7. Tegangan yang ditinjau merupakan tegangan *von Mises* pada *J-tube clamp*.
8. Meninjau moda kegagalan kekuatan *yield* struktur terhadap tegangan *von Mises*.
9. Sambungan las diabaikan.
10. *Bolt* dianggap *fixed*.

1.6. Sistematika Laporan Tugas Akhir

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini diawali dengan pendahuluan pada bab I yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi penelitian yang dilakukan, serta sistematika penulisan laporan.

Dasar teori dan tinjauan pustaka yang berisi teori-teori yang menjadi landasan dan pendukung pokok bahasan yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian dijelaskan pada bab dua. Referensi tersebut dijadikan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan tugas akhir.

Bab tiga pada penulisan laporan tugas akhir ini menjelaskan tentang metodologi penelitian dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis. Bab ini dilengkapi dengan data penelitian serta penjelasan *detail* untuk setiap langkah pengerjaannya.

Bab empat merupakan bagian terpenting dalam suatu laporan penelitian yaitu menjelaskan tentang pemodelan struktur, analisa beban dan tegangan local *J-tube Clamp*, dan peluang kegagalan *J-tube Clamp* yang menjadi tinjauan untuk menghasilkan kesimpulan.

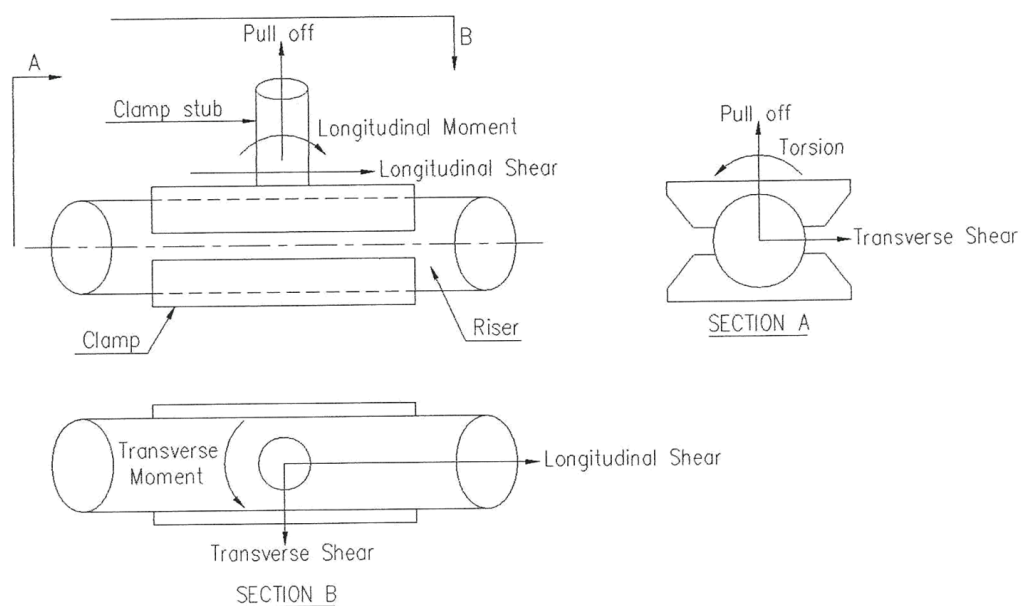
Bab lima berisi kesimpulan yang didasarkan pada analisa di bab sebelumnya, dan menjawab permasalahan-permasalahan yang dikemukakan di awal penelitian. Dengan keterbatasan penelitian, maka dapat merekomendasikan dalam bentuk saran untuk mengembangkan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

J-tube Clamp adalah suatu support yang dipasang untuk menahan *J-tube* pada struktur. Dalam tugas akhir ini akan menganalisa berapa besar tegangan *J-tube clamp* akibat beban baik dari struktur itu sendiri maupun dari *J-tube*. Beban yang terjadi pada *J-tube clamp* terjadi akibat adanya gaya-gaya yang akan menimbulkan tegangan. Gaya-gaya yang terdapat pada clamp ditunjukkan pada Gambar 2.1. Menurut Popov (1984), bagian-bagian suatu struktur komposit harus cukup tegar hingga tidak akan melentur atau melengkung secara berlebihan bila bekerja di bawah beban yang diberikan. Begitu pula dengan *J-tube clamp*, kekuatan *J-tube clamp* sangat berpengaruh ketika struktur beroperasi. Karena tegangan yang diperoleh oleh *J-tube clamp* akan mempengaruhi kekuatan dari *J-tube clamp* itu sendiri dan juga *J-tube existing* yang menghubungkan *clamp* dengan struktur.



Gambar 2. 1 Gaya yang terjadi pada *Clamp*

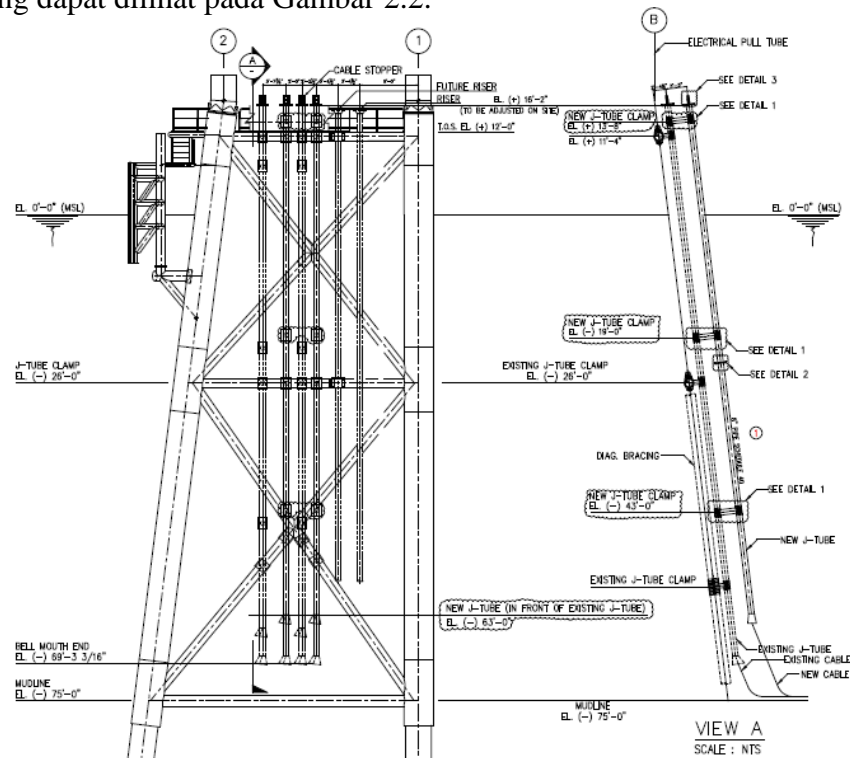
(Dokumen PT. X)

Struktur yang akan dioperasikan pada saat kondisi operasi maupun pada saat kondisi badai harus memenuhi standart keandalannya, yang dimana keandalan tersebut dapat dihitung melalui metode keandalan yang ada. Keuntungan terbesar penerapan metode probabilistik atau yang dewasa ini biasa disebut sebagai analisa keandalan dan resiko adalah perancang akan dapat menghasilkan suatu sistem rekayasa yang lebih efisien dan juga memenuhi kualitas standard yang diharapkan (Djarmiko, 2003).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. J-tube

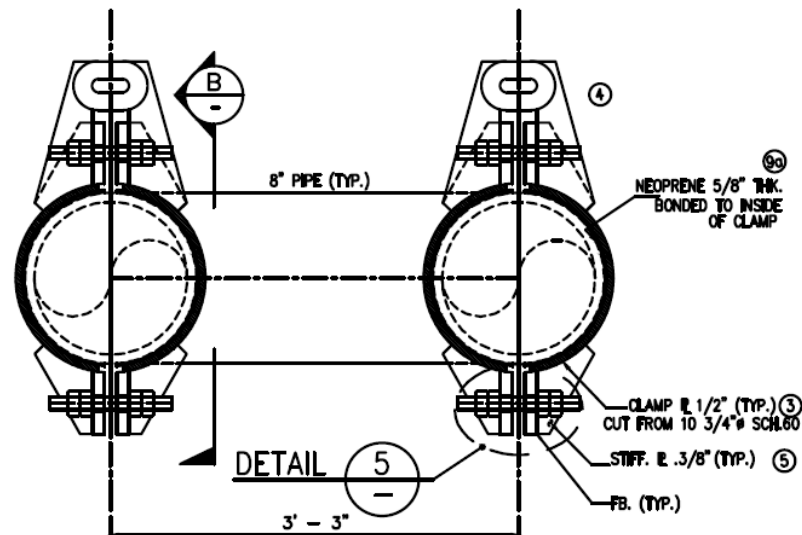
J-tube merupakan *offshore unit* yang berbentuk menyerupai huruf kapital "J". J-tube melekat pada platform untuk menyokong *subsea cable* yang fleksibel. Jenis pengaturan ini mudah dan lazim untuk pemasangan pipa pipih berdiameter kecil dan kabel fleksibel. *Umbilicals* tidak cukup kaku untuk dapat berdiri sendiri, sehingga J-tube dipasang untuk dapat mendukung *umbilicals* (Geschwindner, 1994). J-tube memiliki empat bagian: tabung vertikal, tikungan, tabung horizontal, dan *bell-mouth* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Lokasi J-tube pada W platform
(Dokumen PT. X)

2.2.2. Clamp

Clamp merupakan alat pengikat untuk menahan atau mengamankan benda-benda agar tetap erat untuk mencegah pergerakan dengan menerapkan tekanan ke dalam. Terdapat beberapa bagian pada *clamp*, diantaranya: *stub*, *bolt*, *flange*, dan *rolled plate* yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Detail *clamp* pada J-tube

(Dokumen PT. X)

Kegagalan yang sering terjadi pada *clamp* adalah *overloading*, dimana pada saat sistem beroperasi dihasilkan beban yang melebihi beban *clamp*, sehingga menyebabkan *bolted joint* longgar dari waktu ke waktu atau gagal secara dahsyat.

2.2.3. Limit State Design

Konsep *limit state* digunakan untuk mendefinisikan kegagalan dalam analisa struktur dengan pertimbangan sebagai berikut (Bai, 2003):

- ULS - *Ultimate Limit State*

Codes pada umumnya mengharuskan *ultimate limit state* pada struktur sesuai dengan dua kondisi, yaitu ULS-A yang mencerminkan beban permanen ekstrem dengan kondisi lingkungan *regular*, dan ULS-B mencerminkan beban permanen yang besar dengan kondisi lingkungan yang ekstrem.

- *Fatigue Limit State*

Bangunan lepas pantai dikenai berbagai macam muatan yang bersifat siklik (misalnya badai, angin, gelombang, dan arus). Beban siklik ini membentuk regangan siklik pada struktur. Jika regangan cukup besar, maka kekuatan, kekakuan, dan kapasitas elemen struktur dapat berkurang akibat defradasi kelelahan.

- *Serviceability Limit State*

SLS merupakan penurunan secara perlahan kekuatan struktur yang berakibat pada ketidaknyamanan dan biaya perawatan yang tinggi. Hal ini juga mempengaruhi integritas struktur.

- *Accidental Limit State*

ALS merupakan batas kekuatan struktur akibat adanya kecelakaan atau bencana yang terjadi, misalnya *ship collision*, kebakaran/ledakan, dan gelombang aneh.

2.2.4. Pembebanan

Dalam suatu proses perancangan bangunan lepas pantai, kemampuan kerja struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut, sehingga perancang harus menentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang cukup sulit. Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi dari struktur dapat diketahui secara pasti, namun distribusi beban dari elemen ke elemen, dalam suatu struktur umumnya memerlukan asumsi dan pendekatan (Setiawan, 2008). Menurut Soedjono (1999) beban-beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai adalah sebagai berikut :

1. Beban mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban dari komponen- komponen kering serta beban-beban peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, meliputi:

- a. Berat dari struktur bangunan lepas pantai, seperti tiang pancang, bangunan atas, *jacket, deck, railing, grout, paint, stiffeners* dan lain-lain.
- b. Berat peralatan dari permesinan yang tidak digunakan untuk pengeboran atau proses pengeboran.
- c. Berat perlengkapan tambahan lain yang dipasang permanen pada struktur, seperti *boad landing, risers, barge bumper*.

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban gravitasi yang terjadi pada bangunan lepas pantai selama beroperasi dan dapat berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain. Adapun yang termasuk beban hidup dapat digolongkan sebagai berikut:

- a. Berat peralatan pengeboran (*drilling*)
- b. Berat peralatan produksi (*treatment*)
- c. Berat pendukung pengeboran
- d. Berat pendukung *treatment*
- e. Beban pengeboran
- f. Beban akibat gaya-gaya yang terjadi pada struktur dari operasi

3. Beban Lingkungan (*Environmental Load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja.

- Beban gelombang
- Beban angin
- Beban arus

4. Beban Akibat Kecelakaan

Beban akibat suatu kecelakaan di definisikan sebagai beban yang terjadi pada saat terjadi kecelakaan. Sebagai contoh pergeseran tanah, gempa bumi, kegagalan sistem mooring, tabrakan, dll. Hal ini juga dapat dilakukan oleh kesalahan orang yang terlibat dalam operasi. Beban kecelakaan ini terjadi akibat dari:

- a. Tabrakan dengan kapal pemandu operasi
- b. Putusnya tali control
- c. Putusnya tali tambat (rantai jangkar, tali baja pengikat kontrol)

- d. Kebakaran, letusan, *blow out*
- e. Benda yang jatuh mengenai deck dan lain-lain.

2.2.4. Tegangan Lokal

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan struktur tergantung dari gaya yang bekerja. Bila suatu material mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk.

J-tube clamp merupakan bagian lokal dari sebuah struktur yang menghubungkan *J-tube existing* dengan *J-tube* baru. Pada penelitian ini dilakukan analisa lokal batas tegangan yang dilakukan untuk menentukan kekuatan *J-tube clamp* untuk menahan beban yang terjadi. Beberapa beban yang bekerja pada *J-tube clamp* mengakibatkan keruntuhan total dan ketidakmampuan *clamp* menahan beban *J-tube* dan beban lingkungan.

2.2.4.1. Tegangan Aksial (*Axial Tension*)

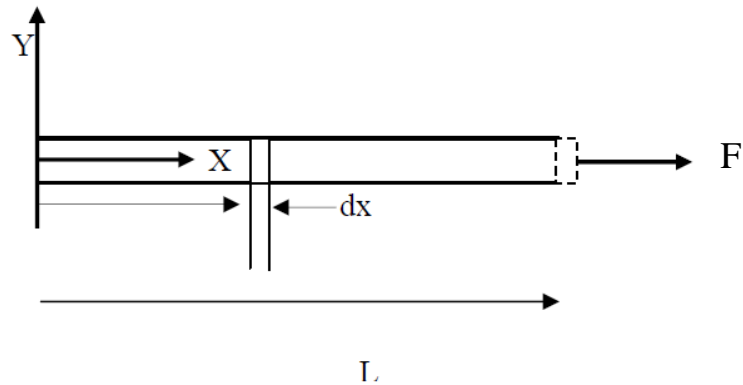
Tegangan normal merupakan intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap penampang. Analisa tegangan dengan metode statis ini berdasarkan Hukum Hooke yang menganggap bahan bersifat elastis linier, sehingga prinsip superposisi bisa digunakan untuk menggabungkan tegangan akibat berbagai sistem pembebanan (Popov, 1984).

Tegangan normal yang menghasilkan tarikan disebut tegangan tarik/*tensile stress*. Jika suatu batang tubular yang mengalami pembebanan aksial sebesar F dengan luas penampang A seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, maka tegangan aksial yang terjadi pada batang sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

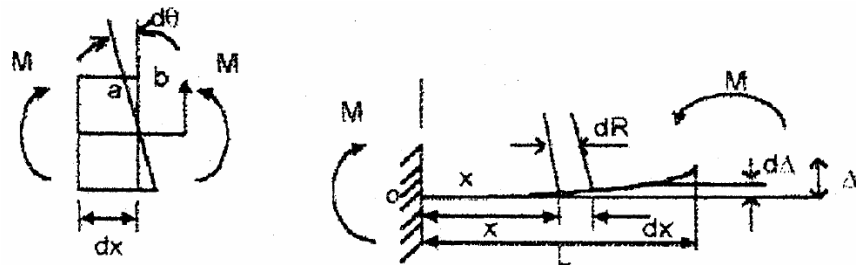
Dengan,

- σ : tegangan aksial (N/mm²)
- F : pembebanan aksial (N)
- A : luas penampang (m²)



Gambar 2.4. Pembebanan aksial pada batang tubular
(Popov, 1984)

Selain akibat gaya aksial, tegangan aksial dapat diakibatkan juga oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi disetiap ujungnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Tegangan yang terjadi akibat momen ini dikenal sebagai bending stress atau tegangan lentur.



Gambar 2. 4 Pembebanan momen kopel pada batang tubular
(Popov, 1984)

2.2.4.2. Tegangan Geser (*Shear*)

Tegangan geser (shear stress) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang. Penyebab paling besar terjadinya tegangan geser pada elemen penampang bulat seperti *tube* adalah momen puntiran aksial (Gambar 2.6). Tegangan maksimum yang akan terjadi pada permukaan luar batang didefinisikan sebagai :

$$\sigma = \frac{T.R}{J} \quad (2.2)$$

Dengan

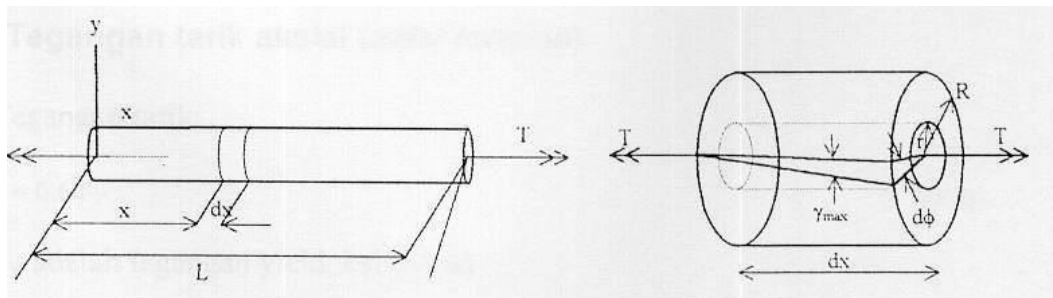
σ : tegangan geser (N/mm²)

T : momen torsi terkonsentrasi (Nm)

R : jari-jari penampang batang (m)

J : momen inersia kutub (m⁴)

Penyebab paling besar terjadinya tegangan geser pada elemen penampang bulat seperti *tube* adalah momen puntiran aksial (Gambar 2.6).



Gambar 2. 5 Momen puntiran pada batang tubular
(Popov, 1984)

2.2.5. Tegangan untuk Member Silinder berdasarkan API RP2A-LRFD

Ketentuan mengenai kekuatan dan stabilitas member silinder dijelaskan secara spesifik pada *codes* API RP 2A – *Load and Resistance Factor Design*. Rekomendasi yang diberikan dikhususkan untuk diaplikasikan pada silinder *stiffened* maupun *unstiffened* yang memiliki ketebalan sebesar 6mm dan memiliki *yield strength* kurang dari 414 MPa.

2.2.5.1. Tegangan tarik (*axial tension*)

$$F_t \leq \Phi_t F_y \quad (2.3)$$

Dengan:

F_t : tegangan tarik aksial (MPa)

F_y : kekuatan *yield* (MPa)

Φ_t : faktor tahanan untuk kekuatan tarik ≈ 0.95

2.2.5.2. *Shear*

$$F_v = \Phi_v F_{vn} \quad (2.4)$$

$$F_v = \frac{2V}{A}$$

Dimana,

F_v : tegangan geser maksimum (MPa)

F_{vn} : kekuatan nominal geser $\approx F_y/\sqrt{3}$ (MPa)

V : gaya geser beam

A : luasan bagian melintang

Φ_v : faktor tahanan untuk kekuatan geser ≈ 0.95

2.2.6. Tegangan *von Mises*

Tegangan *von Mises* merupakan pengembangan dari teori energi distorsi pada material, dimana energi distorsi merupakan energi yang dibutuhkan oleh suatu material untuk mengalami deformasi bentuk. Jika suatu material terjadi distorsi akibat beban luar maka bentuk materialnya akan berubah tanpa mengubah volumenya (Beer, 2012). Tegangan *von Mises* mengalkulasikan energi distorsi per satuan volume yang diperlukan kemudian digunakan hasilnya untuk mengalkulasikan tegangan ekuivalen yang mengakibatkan deformasi bentuk yang terjadi. Jika suatu struktur memiliki tegangan atau energi distorsi *von Mises* lebih besar dari tegangan atau energi distorsi yang diizinkan atau dibutuhkan untuk mencapai kondisi leleh (*yield point*) maka struktur tersebut mengalami kegagalan. Tegangan *von Mises* dapat dihitung dengan persamaan 2.5 dengan hasil satuannya berupa Pa atau N/m².

$$\sigma_{eq}^2 = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.5)$$

Keterangan,

σ_{eq} : tegangan ekuivalen *von Mises* (Pa)

σ_x : tegangan normal sumbu x (Pa)

σ_y	: tegangan normal sumbu y (Pa)
σ_z	: tegangan normal sumbu z (Pa)
τ_{xy}	: tegangan geser bidang xy (Pa)
τ_{xz}	: tegangan geser bidang xz (Pa)
τ_{yz}	: tegangan geser bidang yz (Pa)

2.2.7. *Vortex Induced Vibration*

Vortex Induced Vibrations (VIV) terjadi karena adanya *vortex shedding*. VIV biasa terjadi pada jenis aliran fluida yang memiliki bilangan $Re > 40$. Pada bilangan Re ini, lapisan batas di sekeliling permukaan silinder akan memisah akibat adanya gradient tekanan balik dari geometri yang divergen dari aliran di sekitar sisi belakang struktur. Akibat dari itu maka akan terbentuk lapisan geser.

Vortex yang membentuk dan terlepas (*shed*) menjadi aliran saat melewati struktur seperti silinder dengan *cross-section* yang tidak *streamline* akan menghasilkan beban dinamis. Bahaya utama dari pembebanan tersebut muncul dari kemungkinan resonansi antara frekuensi alami struktur dan frekuensi eksitasi. *Vortex shedding excitation* disebabkan oleh fluktuasi tekanan yang terkait dengan gerak vortex. Beberapa komponen struktural dapat dirancang untuk menahan konsekuensi dari resonansi. Oleh karena itu, penting untuk menghindari kondisi dimana resonansi dapat terjadi, atau untuk mengambil tindakan spesifik yang menghambat mekanisme eksitasi (Barltrop, 1977).

Terjadi atau tidaknya VIV pada aliran di sekitar struktur dapat diketahui dari harga parameternya. Berdasarkan harga parameter tersebut maka dapat diketahui terjadi tidaknya VIV, berapa besar VIV yang terjadi, dan keteraturan aliran *vortex*. Parameter VIV tersebut adalah sebagai berikut (Techet, 2005):

a. *Strouhal number*

$$S_t = \frac{f_s D}{U} \quad (2.6)$$

dengan

f_s : frekuensi vortex shedding (Hz)

S_t : strouhal number ≈ 0.2 untuk silinder bulat

U : kecepatan partikel (m/s)

D : diameter struktur (m)

b. *Reynolds number*

$$R_e = \frac{UD}{\nu} \quad (2.7)$$

dengan

Re : Reynolds number $\approx Re < 10^5$ (batas aliran laminar)

U : kecepatan partikel (m/s)

D : diameter struktur (m)

ν : viskositas kinematis air (m²/s)

c. *Reduced velocity*

$$V_m = \frac{U}{f_n D} \quad (2.8)$$

dengan

V_m : *reduced velocity* (m/s)

f_n : frekuensi (Hz)

U : kecepatan partikel (m/s)

D : diameter struktur (m)

d. *Frekuensi vortex shedding*

$$f_s = \frac{S_t U}{D} \quad (2.9)$$

dengan

f_s : frekuensi vortex shedding (Hz)

S_t : strouhal number ≈ 0.2 untuk silinder bulat

U : kecepatan partikel (m/s)

D : diameter struktur (m)

e. Kaulegan-Carpenter

$$K_c = \frac{UT}{D} \quad (2.10)$$

dengan

K_c : Kaulegan – Carpenter number

U : kecepatan partikel (m/s)

T : periode (s)

D : diameter struktur (m)

Kaulegan-Carpenter harus diketahui harganya untuk mengetahui signifikan tidaknya VIV yang terjadi. Jika $K_c > 5$ maka VIV yang terjadi cukup signifikan dan sebaliknya, jika $K_c < 5$ maka VIV yang terjadi tidak signifikan. Jika $K_c > 30$ dan kecepatan arusnya lebih besar dibandingkan kecepatan gelombang maka *vortex shedding* terjadi pada saat aliran arusnya *steady*.

2.2.8. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah metode numeris untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis (Logan, 2007). Dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban (*load*) pada kondisi batas (*boundary condition*) yang diberikan. Dari elemen-elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matrik yang dapat diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Dari penyelesaian matematis dengan menghitung inverse matrik akan diperoleh persamaan dalam bentuk matrik untuk satu elemen dan bentuk matrik total yang merupakan penggabungan (*assemblage*) matrik elemen.

Terdapat dua pendekatan dalam metode elemen hingga, yang pertama adalah pendekatan metode gaya atau fleksibilitas yang menggunakan kekuatan internal sebagai masalah yang tidak diketahui. Pendekatan kedua adalah

metode *displacement* atau *stiffness* yang mengasumsikan perpindahan dari *node* sebagai masalah yang tidak diketahui. Kedua pendekatan tersebut menghasilkan berbagai hal yang tidak diketahui dalam analisis dan matriks yang berbeda.

Metode elemen hingga melibatkan pemodelan struktur dengan menggunakan *small interconnected elements* yang disebut *finite element*. Setiap *interconnected elements* dihubungkan, secara langsung maupun tidak langsung, ke setiap elemen lainnya melalui antarmuka/*interfaces* umum, diantaranya *nodes*, *boundary lines*, dan *surfaces*. Dengan menggunakan sifat tegangan/regangan yang diketahui dari material yang digunakan pada strukturnya, maka dapat diketahui perilaku dari *node* tertentu dalam suatu elemen. Hal yang harus diperhatikan dalam metode elemen hingga (Logan, 2007), antara lain:

a. Model Geometri dan Kondisi Batas

Untuk menghasilkan hasil yang akurat pada metode elemen hingga, dibutuhkan material, geometri, dan beban yang terdistribusi sesuai dengan keadaan sebenarnya. Diharapkan metode ini mampu menghasilkan nilai yang sama dengan keadaan yang terjadi di lapangan.

b. Material

Dalam software metode elemen hingga yang akan digunakan dalam analisa sangat penting untuk memasukkan jenis material yang digunakan, tetapi hal ini disesuaikan dengan jenis material yang terdapat dalam software itu sendiri. Dalam melakukan analisa biasanya untuk mendeskripsikan suatu karakteristik dari suatu material cukup dengan memasukkan nilai modulus elastisitas dan juga rasio poisson. Hal tersebut sangat penting karena dalam software metode elemen hingga yang digunakan jika tidak dilakukan maka hasil yang keluar tidak sesuai dengan harapan.

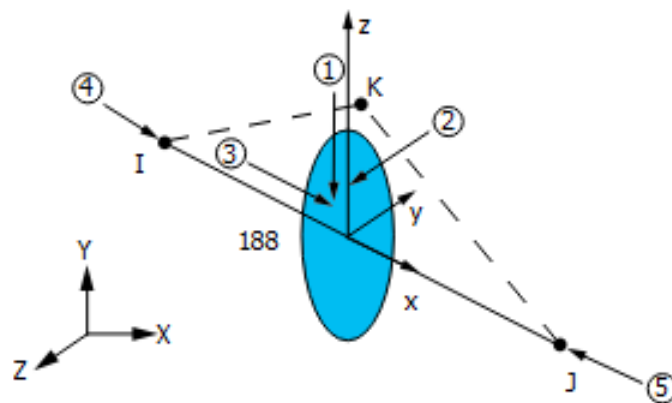
c. Elemen

Pemilihan jenis elemen berkaitan dengan idealisasi yang ingin dilakukan terhadap struktur yang dimodelkan. Jenis elemen yang dapat

digunakan dalam analisis tegangan dengan bantuan *software* ANSYS 16.0, diantaranya:

- 1-dimensi : *beam*

Elemen 1-dimensi yaitu *beam* dan *bar* ditujukan untuk elemen yang mampu menahan beban aksial, momen lentur, dan torsi. Perbedaan yang menonjol pada elemen *bar* dan *beam* adalah pada elemen *beam* properties dari dimensi batang tidak harus seragam, misalnya dapat berupa kerucut atau taper. Elemen *beam* digunakan untuk mewakili struktur yang relative panjang dan tipis. Pada elemen ini diasumsikan tekanan langsung pada arah non-aksial menjadi nol, dan mengabaikan deformasi pada arah non-aksial. Bentuk elemen *beam* ditunjukkan pada Gambar 2.6.

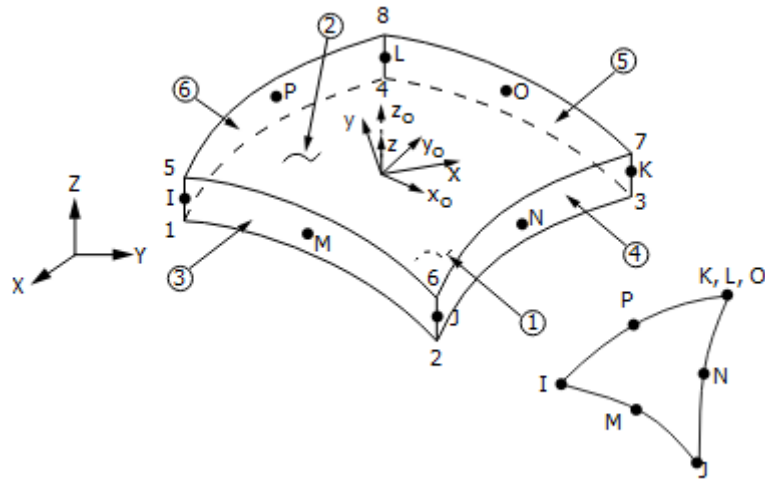


Gambar 2. 6 Elemen *Beam*

- 2-dimensi : *shell*

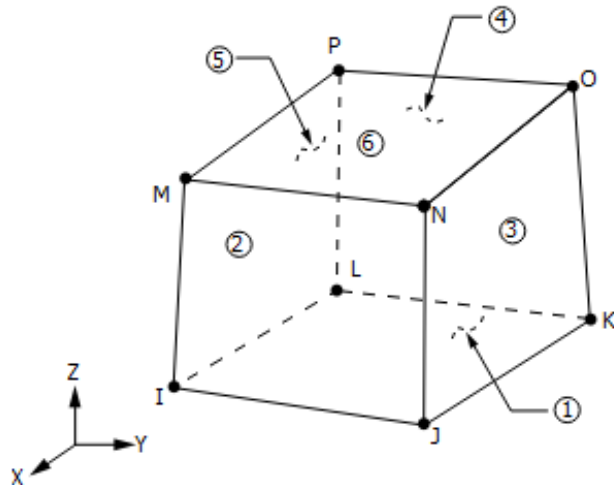
Elemen *shell* digunakan untuk memodelkan struktur tipis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Elemen 2-dimensi atau *shell*, memiliki dua geometri standar, yaitu segi-empat dan segitiga. Dalam elemen *shell*, tipe elemen segi-empat dengan jumlah titik integrasi yang cukup dalam elemen dan ketebalannya, dianggap efisien saat mensimulasikan tabrakan. Unsur-unsur *shell* memisahkan deformasi pada permukaan dan deformasi ke arah normal, sehingga memungkinkan simulasi struktur tipis yang sederhana dan efisien. Tidak ada aturan tegas yang menunjukkan

kapas elemen *shell* sebaiknya digunakan. Unsur-unsur *shell* biasanya dibuat dengan memasang permukaan yang mewakili posisi dan bentuk struktur, dan menghubungkannya dengan ketebalan dan sifat *shell*. Unsur-unsur *shell* menahan beban eksternal dengan *membrane*, *bending*, dan *transverse shear stiffness*.



Gambar 2. 7 Elemen *Shell*

- 3-dimensi : *solid*
 Elemen *solid* ditujukan pada pemodelan struktur berdinding tebal. Seiring meningkatnya ketebalan *laminate*, tekanan di luar bidang menjadi lebih signifikan, sehingga elemen *solid* lebih baik dalam memperkirakan efek ini. Terdapat tiga standar geometri dalam elemen *solid*, yaitu *tetrahedron*, *wedge*, dan *brick*. Ketiga geometri tersebut memiliki 4, 6, dan 8 sudut dengan tiga permukaan yang bertemu disetiap sudutnya. Kelemahan dari tipe elemen ini adalah material biasanya menjadi terlalu kaku saat membengkok pada elemen tipis. Gambar salah satu jenis elemen *solid* yaitu elemen *solid* pada struktur homogeny ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Elemen *solid* struktur homogen

Pilihan yang ada berkait dengan jenis elemen (1-dimensi, 2-dimensi, atau 3-dimensi) dan berlanjut dengan tingkat kesulitan dari jenis elemen yang ditunjukkan oleh jumlah titik (*nodes*) dalam elemen beserta jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom* atau DOF) dari masing-masing titik (*nodes*).

d. *Meshing*

Meshing dibutuhkan untuk mengetahui ukuran yang optimum atau konsistensi – keakuratan hasil dari jumlah elemen yang digunakan. Penentuan jumlah elemen sesuai dengan ukuran elemen yang penentuan dan penyebarannya berkenaan dengan konsentrasi dari deformasi, regangan, serta tegangan yang akan terjadi pada struktur yang dimodelkan yang disebabkan oleh bentuk geometri dari struktur serta penyebaran beban dan syarat batasnya. *Meshing* yang dilakukan dalam pemodelan biasanya tergantung pada elemen yang dipilih dan juga tingkat kedetailan dari analisa. Perubahan ukuran *meshing* dilakukan dengan metode iterasi hingga hasilnya menjadi konvergen pada ukuran tertentu atau tidak adanya perubahan yang signifikan dari hasil sebelumnya.

e. Beban

Serangkaian beban yang terjadi pada model yang akan dianalisa sangat berpengaruh pada hasil yang dikeluarkan oleh software, maka dalam memasukkan nilai beban harus sesuai dengan kondisi yang ada.

2.2.9. *Availability*

Pengukuran reliability memang memberikan petunjuk yang jelas tentang frekuensi kesuksesan komponen/sistem dalam menjalankan fungsinya, akan tetapi interval waktu produk tak dapat dipakai setelah kegagalan tidak dapat diukur. Konsep *availability* dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan ini, dengan mengukur jumlah waktu produk dalam keadaan operasional (Barringer, 1997).

2.2.10. *Maintainability*

Maintainability didefinisikan sebagai jumlah kegiatan perawatan korektif dalam selang waktu tertentu dibagi dengan jumlah waktu perawatan total yang diperlukan untuk memperbaiki sistem. Dari definisi tersebut terlihat bahwa maintainability berbanding terbalik dengan *Mean Time To Repair* (MTTR). Dengan demikian dalam hubungannya untuk meningkatkan availability, kedua faktor *reliability* dan *maintainability* harus diperbaiki. Hal ini mengasumsikan bahwa hal-hal lain yang mungkin menyebabkan waktu penundaan (*delay time*) yang berlebihan dapat dihilangkan (Barringer, 1997).

2.2.11. *Down Time Analysis*

Down time merupakan total waktu yang dibutuhkan (ketika sistem tidak beroperasi) untuk merepair dan mengembalikan sistem kepada status operasi sepenuhnya. Dalam prakteknya *down time* mempunyai paling tidak dua komponen. Komponen pertama adalah waktu tunggu datangnya suku cadang melalui rantai suplai (*logistic downtime*). Komponen kedua adalah waktu repair, yang terdiri dari waktu maintenance. Sedangkan *Mean Down time* (MDT) didefinisikan sebagai selang waktu tak beroperasi rata-rata, yaitu

jumlah waktu yang diperlukan untuk memperbaiki produk sampai mencapai kondisi yang dapat dirawat (Barringer, 1997).

2.2.12. *Reliability*

Reliability atau keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Rosyid, 2007). Dalam suatu rekayasa parameter perancangan dan kinerja operasi tidak dapat diketahui secara pasti. Secara garis besar ketidakpastian dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu :

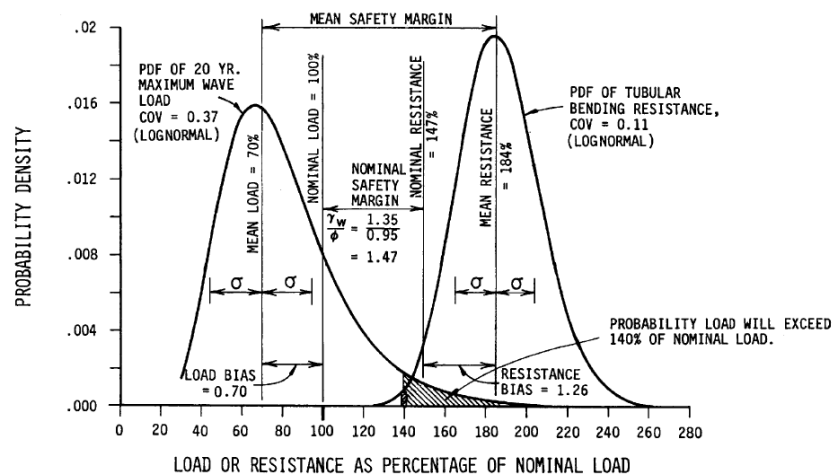
1. Variabilitas fisik, yaitu fenomena alami yang sifatnya acak atau bervariasi.
2. Ketidakpastian statistic di dalam perkiraan nilai suatu parameter atau pemilihan distribusi.
3. Ketidakpastian dalam pemodelan yang didasarkan pada idealisasi atau asumsi.

Nagoya, 2008 menyatakan, bahwa dalam perancangan struktur bangunan lepas pantai akan banyak dijumpai ketidakpastian yang mempengaruhi sistem bangunan diantaranya :

1. Ketidakpastian pada beban yang disebabkan gelombang laut yang selalu berubah- ubah.
2. Ketidakpastian pada sifat material seperti tegangan luluh (*yield strenght*). Kekuatan lelah (*fatigue strenght*), kekasaran takik (*notch toughness*) dan tingkat korosi (*corrosion rate*).
3. Ketidakpastian dalam menganalisa bangunan yaitu dalam analisa respon atau analisa keadaan batas. Dalam analisa tersebut pasti akan melibatkan beberapa asumsi, pendekatan ataupun idealisasi model matematis dari lingkungan fisik dan tanggapan bangunan terhadap lingkungan tersebut.

Dalam konteks analisa keandalan suatu struktur, yang dimaksud dengan istilah kegagalan (*failure*) adalah terjadinya salah satu dari sejumlah kondisi batas yang telah ditentukan sebelumnya. Faktor beban dan tahanan dipilih sedemikian rupa sehingga peluang kegagalan suatu struktur adalah kecil sekali atau masih dalam batas-batas yang dapat diterima. Peluang kegagalan suatu struktur dapat ditentukan jika tersedia data-data statistik dari tahanan dan tersedia pula fungsi distribusi dari beban.

Dalam pengukuran sifat mekanik material (*resistance*) maupun perhitungan dan pengukuran beban dan tegangan pada struktur, khususnya yang melibatkan material dan struktur yang kompleks (paduan, heat treatment, pengelasan, degradasi material akibat lingkungan, geometri dsb). Nilai ketidakpastian atau sebaran tersebut dinyatakan dengan mean μ_S dan μ_R serta standar deviasi σ_S dan σ_R seperti diperlihatkan pada kurva PDF, $f_S(s)$ dan $f_R(r)$ yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 9 Probabilitas beban dan tahanan

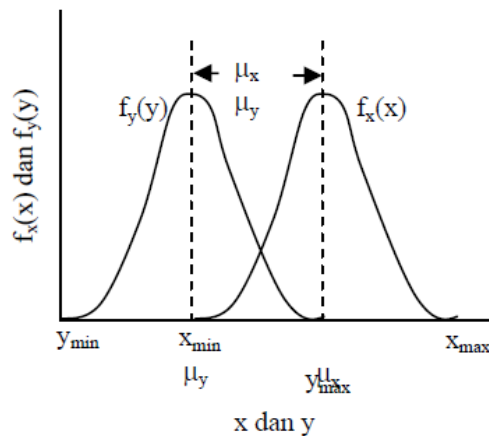
(API RP 2A-LRFD, 2005)

Kriteria desain konvensional (deterministik) adalah $\mu_S < \mu_R$. Namun dari Gambar 2.7 terlihat bahwa ada daerah tertentu (diarsir) yang menunjukkan adanya peluang kegagalan karena pada daerah

tersebut $SN > RN$. Kondisi inilah yang mendasari digunakannya konsep baru yaitu teori probabilitik dan keandalan. Perancangan keandalan selalu mendefinisikan beban dan kekuatan sebagai variable acak probabilistik. Gambar 2.7 menunjukkan formulasi keandalan mendasar tersebut, dimana risiko bergantung pada tingkat tumpang tindih kurva kepadatan beban dan kekuatan.

2.2.12.1. Factor of safety

Faktor keamanan diperkirakan berdasarkan pengalaman yang berkaitan dengan perilaku suatu sistem tertentu atau dari pengamatan pada sistem yang sejenis. Ukuran konvensional untuk angka keamanan adalah perbandingan antara asumsi nilai nominal kemampuan (*capacity*), x^* , dan *demand* (tuntutan atau beban), y^* .



Gambar 2. 10 Probabilitas beban dan tahanan
(Rosyid, 2007)

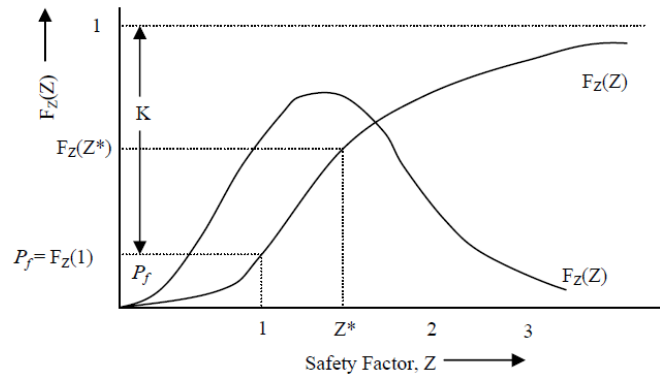
$$Z^* = \frac{X^*}{Y^*} \quad (2.11)$$

Karena nominal x^* dan y^* tidak pasti, maka fungsi x^* dan y^* perlu dinyatakan sebagai distribusi peluang. Sehingga angka keamanan dinyatakan dengan perbandingan $Z = X/Y$ dari dua variable acak X dan Y .

Ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tuntutan dan tugasnya, yang diukur dengan peluang kegagalan, dapat dihubungkan dengan bagian dari distribusi angka keamanan yang nilainya kurang

dari satu, yaitu porsi dalam dimana $Z = X/Y \leq 1$ (lihat gambar 2.9).
Peluang kegagalan sistem, P_f diberikan dengan persamaan:

$$P_f = P [Z \leq 1] = F_Z (1) \quad (2.12)$$



Gambar 2.9 Fungsi distribusi kumulatif dan fungsi kerapatan peluang
(Rosyid, 2007)

Dimana F_Z adalah fungsi distribusi komulatif dari Z . Dengan pernyataan lain, peluang sistem untuk tidak gagal (keandalan) adalah:

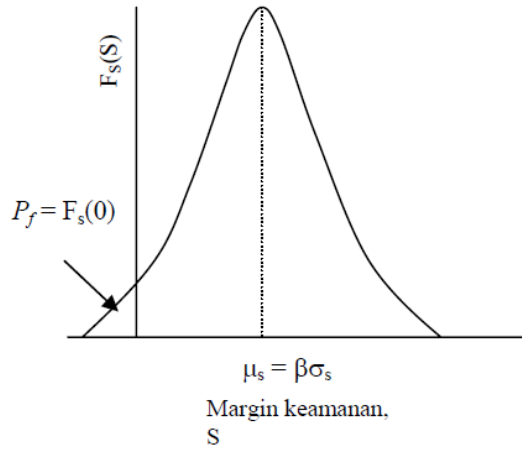
$$K = 1 - P_f = P [Z > 1] = 1 - F_Z (1) \quad (2.13)$$

Ketika distribusi peluang bersama (joint probability distribution) dan X dan Y diketahui, keandalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi komulatif dari X/Y . Peluang kegagalan nol ($P_f = 0$) dan keandalan 100 ($K = 1$) hanya terjadi ketika tuntutan maksimum Y_{\max} tidak melewati kapasitas minimum X_{\min} , sehingga kedua distribusi tidak saling overlap.

2.2.12.2. Margin Keselamatan

Jika demand maksimum Y_{\max} melampaui kapasitas maksimum X_{\min} , distribusi keduanya akan mengalami overlap dan probabilitas kegagalan tidak lagi bernilai nol. Untuk menilai probabilitas, dapat diambil perbedaan diantara kapasitas dan beban, yang biasanya disebut dengan margin keamanan atau safety margin, S :

$$S = X - Y \quad (2.14)$$



Gambar 2. 11 FKP untuk batasan margin
(Rosyid, 2007)

Oleh karena nilai X dan Y adalah acak, margin keamanan juga merupakan perubah acak sebagaimana dipresentasikan pada gambar 2.10. Ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tuntutannya, yang diukur dengan peluang kegagalan P_f , dapat diperkirakan menggunakan fungsi kerapatan peluang dari margin keselamatan, yaitu pada bagian dimana S bernilai negatif, atau $S = X - Y \leq 0$. Sehingga dapat dituliskan:

$$P_f = P[(X - Y) \leq 0] = P[S \leq 0] \quad (2.15)$$

dan sebaliknya, keandalannya adalah

$$K = 1 - P_f = P[(X - Y) > 0] = P[S > 0] \quad (2.16)$$

2.2.12.3. Indeks keandalan

Alternatif lain untuk menentukan peluang kegagalan adalah dengan menggunakan indeks keandalan β , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai rata-rata dan nilai simpangan baku dari margin keselamatan, S , yaitu:

$$\beta = \frac{\mu_s}{\sigma_s} \quad (2.17)$$

dengan

- β : indeks keandalan
 μ_s : nilai rata-rata margin keamanan
 σ_s : simpangan baku

Jika menggunakan nilai kritis margin keselamatan, $S = 0$, dan jaraknya dengan nilai rata-rata margin keamanan μ_s , maka indeks keandalan ini dapat diinterpretasikan sebagai jumlah kelipatan simpangan baku σ_s pada jarak ini. Artinya, jarak antara $S = 0$ dengan μ_s ini dapat dibagi menjadi beberapa simpangan baku. Semakin panjangnya, relatif terhadap simpangan baku, maka semakin besar indeks keandalannya. Selanjutnya, indeks keandalan juga berbanding terbalik dengan koefisien variasi margin keselamatan, atau dapat dituliskan $\beta = 1/V_s$. Mengingat $\mu_s = \mu_x - \mu_y$ dan $\sigma_s^2 = \sigma_x^2 - 2\rho_{xy} \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2$, maka indeks keandalan ditunjukkan pada persamaan 2.18 jika X dan Y terdistribusi normal.

$$\beta = \frac{\mu_x - \mu_y}{\sqrt{\sigma_x^2 - 2\rho_{xy} \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2}} \quad (2.18)$$

dimana

- β : indeks keandalan
 μ : nilai rata-rata
 σ : simpangan baku
 ρ_{xy} : koefisien korelasi diantara kapasitas dan beban

Indeks keandalan maksimum jika $\rho_{xy} = +1$ dan minimum jika $\rho_{xy} = -1$.

Dalam LRFD digunakan fungsi lognormal karena lebih akurat dan lebih stabil. Jika X dan Y terdistribusi lognormal serta tidak terkorelasi, maka persamaan nilai rerata adalah:

$$\mu_s = \ln \frac{x}{\sqrt{1 + V^2}} \quad (2.19)$$

serta standar deviasinya adalah:

$$\sigma_s = \sqrt{V_R^2 + V_Q^2} \quad (2.20)$$

dengan R adalah tahanan dan Q adalah beban. Dengan menyamakan persamaan 2.16 dengan persamaan 2.18 dan 2.19, maka indeks keandalan distribusi lognormal adalah:

$$\beta = \frac{\ln \frac{x}{\sqrt{1+V^2}}}{\sqrt{V_R^2 + V_Q^2}} \quad (2.21)$$

Hubungan antara peluang kegagalan dengan indeks keandalan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$p_f = 460 \cdot \exp(-4,3\beta) \quad (2.22)$$

2.2.12.4. Advanced First Orde Second Moment (AFOSM)

Metode *First Orde Second Moment* merupakan metode tingkat II dalam desain probabilitas, dimana digunakan karakteristik statistic yang lebih mudah dari tahanan beban. Metode ini mengasumsikan bahwa beban Q dan tahanan R saling bebas secara statistik (Setiawan, 2008). Hasofer dan Lind mengajukan metode AFOSM yang dikembangkan berdasarkan interpretasi geometri atas fungsi kinerja $FK(X)$ yang linier. Apabila semua perubah dasar X ditransformasikan menjadi perubah dasar baku Z (dengan $m_{Xi}=0$ dan $s_{Xi}=1$) melalui transformasi berikut :

$$Z_i = \frac{x_i - \mu_{xi}}{\sigma_{xi}} \quad (2.23)$$

dengan

Z_i : hasil transformasi perubah dasar X

μ : nilai rata-rata

σ : simpangan baku

Indeks keandalan β adalah jarak terdekat dari titik origin 0 ke bidang kegagalan (*failure surface*) $FK(X) = 0$. Interpretasi ini dipakai untuk menentukan titik linierisasi untuk fungsi kinerja $FK(X)$

nonlinier. Melalui transformasi dengan persamaan di atas m_{xi} dipetakan ke titik 0 dalam ruang perubah acak baku Z .

Untuk mempermudah pemahaman teori yang dikemukakan Hasofer dan Lind, berikut adalah ringkasan dari prosedur metode AFOSM :

1. Menentukan persamaan kondisi batas atau moda kegagalan (MK).
2. Menentukan karakteristik perubah-perubah dasarnya, x_i .
3. Mentransformasikan perubah dasar tersebut menjadi perubah acak baku (Z_i).
4. Mendefinisikan unit vektor (α_1) dari persamaan Z_i sama dengan ba_i
5. Menuliskan kembali persamaan MK sebagai fungsi dari ba_1
6. Dengan persamaan MK dan ba_1 dan dua persamaan berikut :

$$a_i = - \frac{1}{k} \left(\frac{\partial m}{\partial z} \right) \quad (2.24)$$

$$k = \sqrt{\left(\sum \frac{\partial m}{\partial z} \right)^2} \quad (2.25)$$

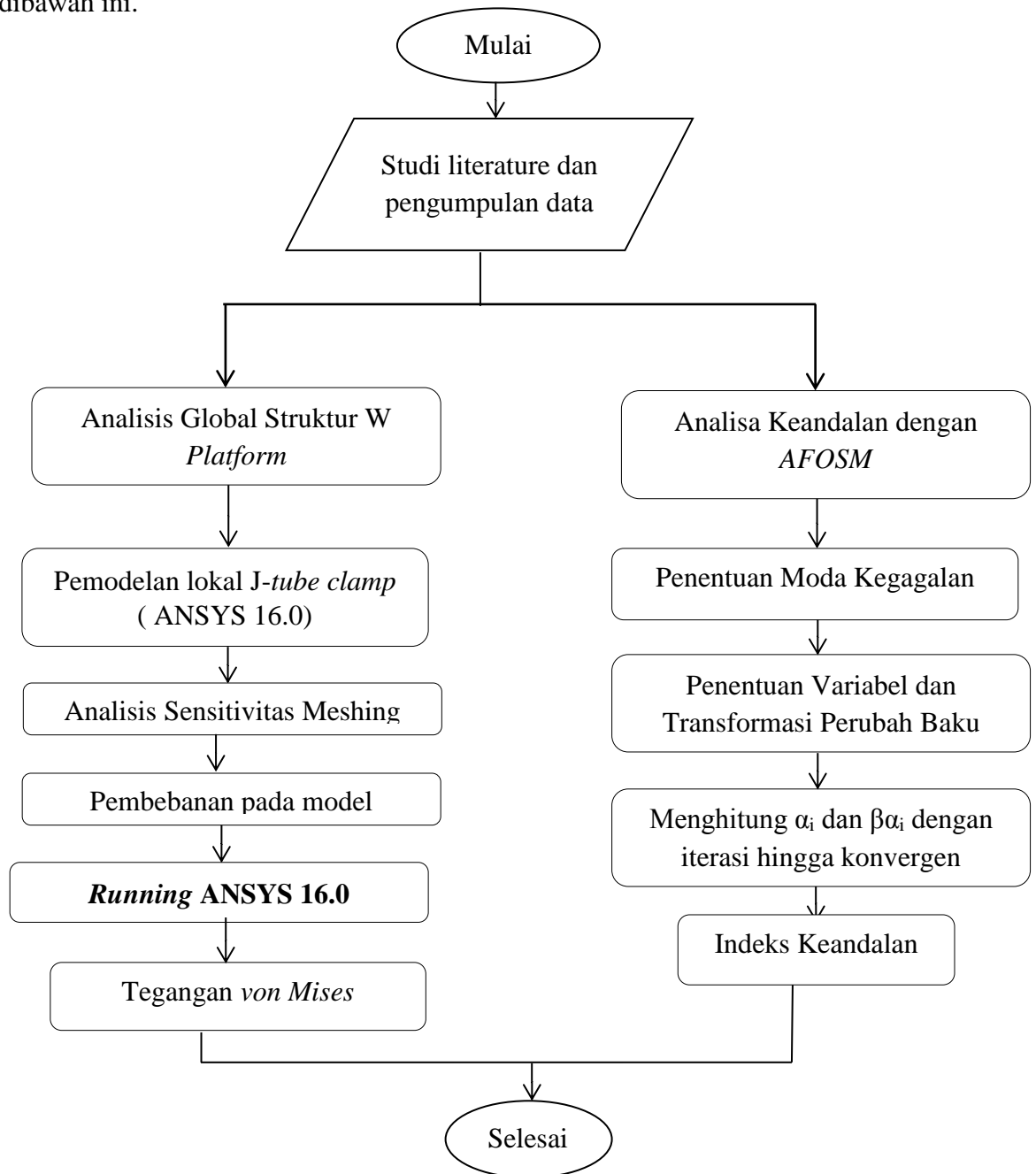
7. Menentukan $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_i$ dengan percobaan dan β percobaan dimana α = unit vektor pengali dimana α_{awal} memiliki harga sekitar -1 hingga 1
8. Menghitung α_i dan $\beta\alpha_i$ yang baru dengan iterasi hingga konvergen.
Perhitungan untuk menentukan β apabila $FK(X)$ nonlinier harus dilakukan secara iteratif. Apabila didefinisikan sebuah vector normal satuan a yang tegak lurus terhadap bidang singgung di titik A pada bidang kegagalan $FK(Z) = 0$, maka jarak dari titik 0 ke A adalah ba , dan $Z_i = ba_i$. Dimana k adalah resultan panjang vektor satuan yang dipakai sebagai pembagi untuk memperoleh vektor satuan arah Z_i .

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Metode penelitian pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.2. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada metodologi penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur dan pengumpulan data

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari beban dan tegangan yang terjadi pada analisa lokal struktur yaitu *J-tube clamp*. Selain itu, juga dilakukan studi mengenai moda kegagalan dan indeks keandalan struktur. Studi literatur didapat dari jurnal-jurnal dan penelitian terkait, buku, dan referensi lain seperti Tugas Akhir.

2. Analisis global struktur *W platform*

Sebelumnya telah dilakukan analisis global struktur *W platform* akibat adanya penambahan *umbillicals*. Dimana hasil dari analisis tersebut dijadikan sebagai referensi pada penelitian tugas akhir ini. Hasil tersebut berupa nilai *force* yang terjadi pada *J-tube*.

3. Pemodelan *J-tube clamp* dengan *software ANSYS 16.0*

Pemodelan *J-tube clamp* dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan menggunakan *software ANSYS 16.0*. Pembebanan yang terdapat pada *J-tube clamp* antara lain beban *force* dan *moment* yang berasal dari analisa global *J-tube*.

4. Analisa tegangan *J-tube clamp* dengan *ANSYS 16.0*

Pada tahap ini akan diketahui hasil analisa lokal berupa tegangan dari pembebanan *force*, *moment*, serta kombinasi keduanya yang didapat dari hasil analisa global.

5. Analisa keandalan

Tegangan yang didapat dari hasil analisa lokal yang dilakukan sebelumnya digunakan sebagai *sample* pada tahap ini. Penentuan distribusi dilakukan dengan menggunakan *sample* tersebut. Dimana akan diketahui standar deviasi, rata-rata, dan detail lainnya. Setelah didapat hasil dihitung indeks keandalannya menggunakan simulasi AFOSM.

6. Kesimpulan dan penyusunan laporan

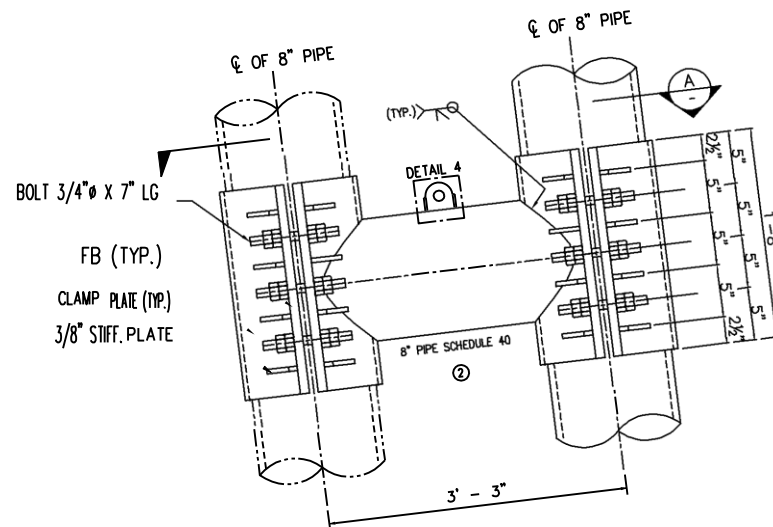
Ditarik kesimpulan berdasarkan permasalahan dan tujuan dari penelitian tugas akhir ini. Setelah itu dilakukan penyusunan laporan tugas akhir dari hasil penelitian.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur

Data-data struktural yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang berkenaan dengan *J-tube* serta *J-tube clamp* pada struktur. Detail *J-tube clamp* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4. 1 Desain *clamp*

(Dokumen PT. X)

Pipa yang digunakan sebagai *J-tube* dan *stub clamp* adalah pipa 8" *schedule* 40, sedangkan untuk *clamp* pipa yang digunakan adalah pipa 10 ³/₄" *schedule* 60. Gambaran umum mengenai ukuran *J-tube* dan *J-tube clamp* dijelaskan dalam Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Ukuran *J-tube* dan *Clamp*

Parameter	<i>J-tube stub</i>	<i>Clamp</i>
<i>Outside Diameter</i> (OD)	0.219 m	0. 273 m
<i>Thickness</i>	0.008 m	0.013 m
<i>Length</i>	990.6 m	508 m

(Dokumen PT. X)

Dibutuhkan 3 buah *clamp* untuk menghubungkan J-tube lama dengan J-tube baru. *Clamp* tersebut diletakan pada elevasi (+) 2.54 m, (-) 5.79 m, dan (-) 13.11 m. Detail *clamp* berupa jenis *bolt*, jumlah *bolt*, serta dimensi *properties* keseluruhan *clamp* dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Properties J-tube dan Clamp

Deskripsi	
Flange plate thickness	19.05 mm
Rolled plate thickness	12.7 mm
Stiffener plate thickness	9.525 mm
Annular plate thickness	12.7 mm
Flange plate width	101.6 mm
Bolt spacing	136.525 mm
Bolt diameter	19.05 mm
No. of bolts	6 Nos

(Dokumen PT. X)

Baik J-tube maupun *clamp* pada penelitian ini menggunakan jenis material yang sama, yaitu ASTM A36. Baja ASTM A36 memiliki spesifikasi berupa *nominal yield stress*, *ultimate tensile stress*, dan tegangan optimum seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4. 3 Properti material J-tube dan Clamp

Parameter	
<i>Yield stress</i>	250 MPa
<i>Ultimate tensile stress</i>	400 MPa
<i>Density</i>	7800 kg/m
<i>Young modulus (E)</i>	29000 MPa
<i>Shear modulus (G)</i>	79300 MPa

(*Manual of Steel Construction*, 1986)

4.2. Pembebanan

Analisis global pada struktur W Platform dengan pembebanan oleh beban mati dan beban lingkungan pada saat kondisi badai telah dilakukan pada saat penelitian di PT. X. Hasil dari analisa tersebut menghasilkan gaya-gaya pada keseluruhan struktur, termasuk pada J-tube seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4. 4 Beban clamp pada J-tube 1

Elevation	Forces (N)			Moments (N-m)		
	Global X	Global Y	Global Z	Global X	Global Y	Global Z
(+) 4.167	1814.87	1814.87	2397.59	0	0	0
(-) 5.791	1325.57	-765.09	3024.79	0	0	0
(-) 13.106	311.37	1018.64	-13.34	0	0	0

Tabel 4. 5 Beban clamp pada J-tube 2

Elevation	Forces (N)			Moments (N-m)		
	Global X	Global Y	Global Z	Global X	Global Y	Global Z
(+) 4.167	2006.15	1810.43	1232.16	0	0	0
(-) 5.791	1383.39	-778.44	1516.84	0	0	0
(-) 13.106	351.41	1063.12	40.03	0	0	0

4.2.1. Dead Load

Beban mati merupakan beban dari komponen- komponen kering serta beban-beban peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur. Beban mati yang mempengaruhi *J-tube clamp* meliputi berat *subsea cables* atau *umbillicals*, berat struktur *J-tube* yang berfungsi untuk melindungi *umbillicals*, dan berat *J-tube clamp* itu sendiri. Beban mati yang diterima oleh *J-tube clamp* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Beban mati pada J-tube Clamp

No.	<i>Dead Load</i>	
1.	Berat <i>clamp</i>	22.7 kg/m
2.	Berat <i>J-tube</i>	22.7 kg/m
3.	Berat <i>umbillicals</i>	16.3 kg/m

(Dokumen PT. X)

4.2.2. Beban Lingkungan

Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi kinerja struktur, sehingga data lingkungan sangat diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini. W Platform beroperasi di perairan Indonesia dengan kedalaman 23.25 m. Detail lokasi W Platform dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 7 Lokasi W Platform

Lokasi	Perairan Indonesia
Latitudinal	S 6° 50' 33.82"
Longitudinal	E 113° 02' 46.41"

(Dokumen PT. X)



Gambar 4. 2 PT. X field

Tabel 4. 8 Data Lingkungan

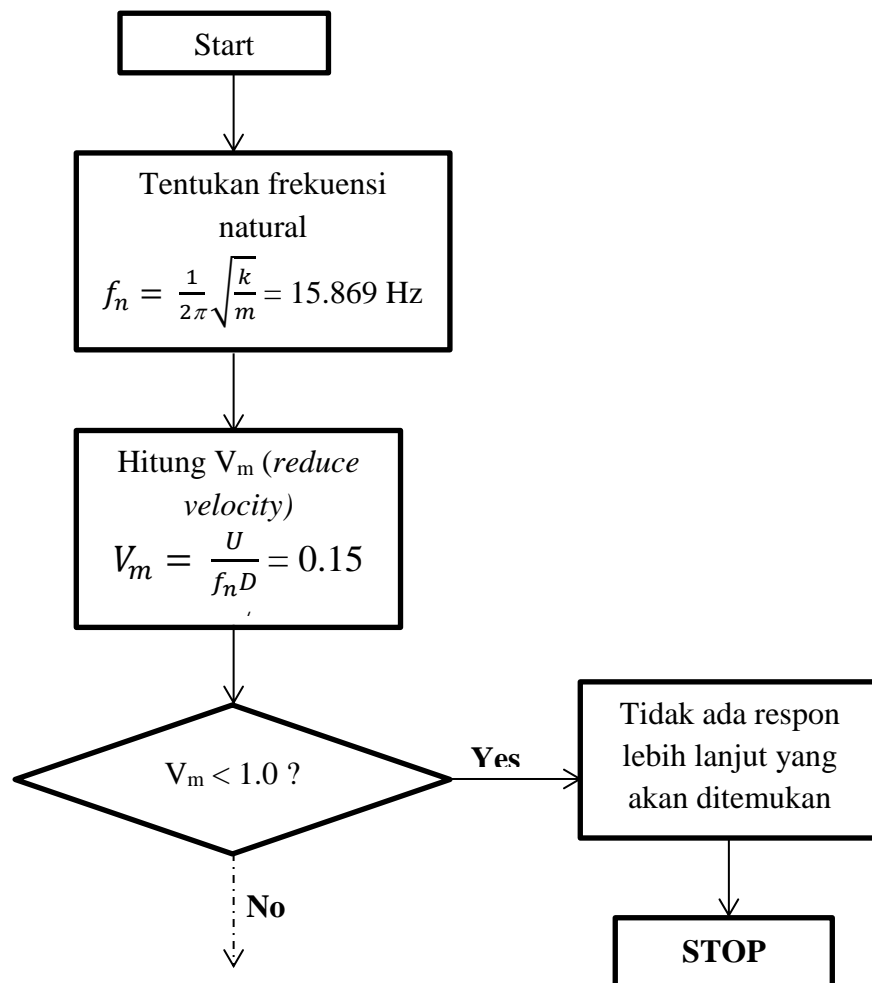
Beban Lingkungan	Badai
Tinggi gelombang maksimum	4.18 m
Periode gelombang maksimum	9.91 s
Kecepatan arus permukaan	0.83 m/s
Kecepatan arus dasar laut	0.55 m/s
1-menit kecepatan angin	0.19 m/s

(Dokumen PT. X)

Pada penelitian ini kondisi lingkungan yang digunakan adalah *metocean parameter* 100 tahunan untuk kondisi operasi dijelaskan pada Tabel 4.8.

4.2.3. Vortex Induced Vibration

Dari data lingkungan yang ada pada Tabel 4.8, dapat diketahui bahwa kecepatan arus di bawah laut sebesar 0.55 m/s. Jika dibandingkan dengan kecepatan arus di permukaan sebesar 0.83 m/s, dapat dikatakan bahwa kecepatan arus di bawah laut cukup signifikan. Akibatnya, perlu dilakukan identifikasi keberadaan *vortex induced vibration*. Hal tersebut perlu dilakukan karena VIV merupakan kriteria kegagalan dalam suatu struktur silinder, sehingga didapatkan indeks keandalan yang akurat pada penelitian ini. Gambar 4.3 merupakan diagram alir untuk mengidentifikasi adanya *vortex shedding* pada sebuah struktur silinder J-tube.



Gambar 4. 3 Diagram Alir Identifikasi Vortex Induced Vibration

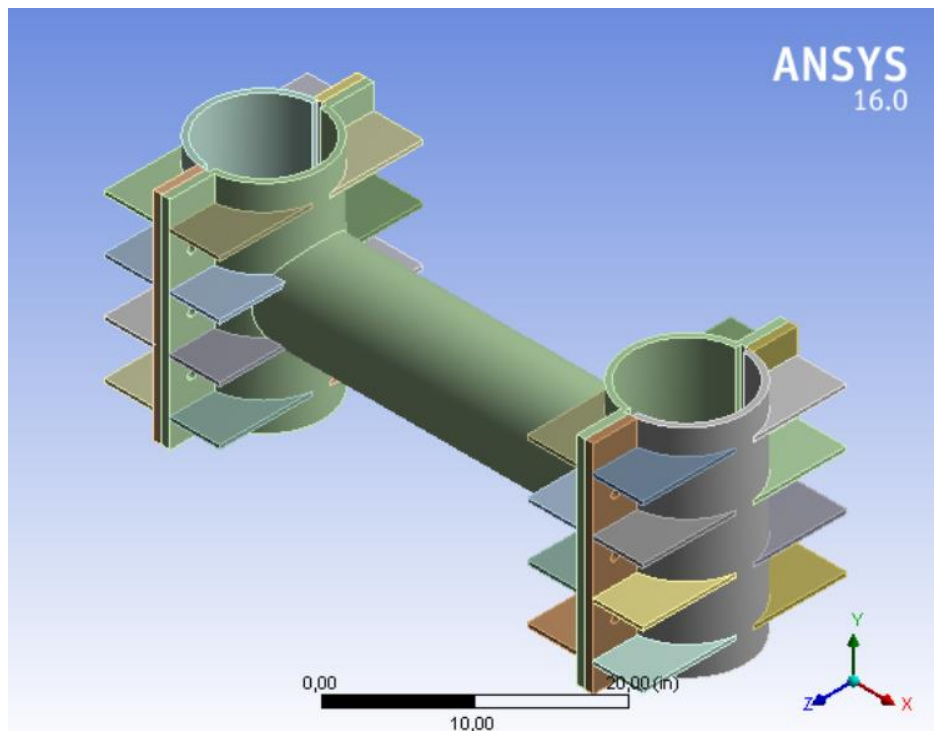
Dari hasil identifikasi VIV pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa salah satu parameter VIV yaitu *reduced velocity* (V_m) pada *J-tube* ialah kurang dari 1, sehingga tidak akan ada respon lebih lanjut yang ditemukan.

4.3. Analisis Tegangan

4.3.1. Pemodelan *J-tube Clamp* Sebagai Analisa Lokal

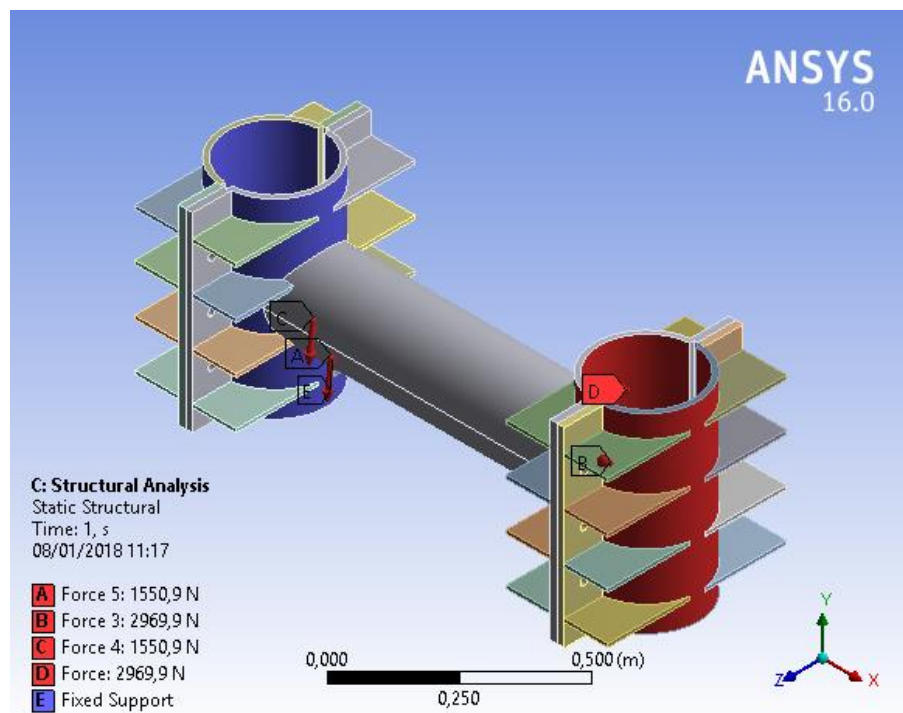
Pemodelan struktur *J-tube clamp* dilakukan dengan bantuan ANSYS *modeler* pada *software* ANSYS 16.0. *Clamp* didesain dengan ukuran yang telah dijelaskan pada Tabel 4.9 dimana faktor diameter *J-tube* dijadikan sebagai acuan. *Clamp* yang telah didesain dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Pada metode elemen hingga terdapat beberapa jenis elemen, diantaranya elemen *solid*, *shell*, dan *beam*. Pada penelitian tugas akhir ini digunakan elemen *solid* karena analisis yang ditinjau memperhatikan ketebalan struktur. Elemen *solid* juga memperhatikan unsur tegangan kontinu mewakili volume model yang digunakan untuk analisis defleksi dan tegangan. Keuntungan lain dari elemen *solid*, diantaranya dapat mengetahui deformasi *nonaxisymmetric*.



Gambar 4. 4 Pemodelan *J-tube* dengan *software* ANSYS 16.0

Setelah geometri dari *J-tube clamp* berhasil diimport, langkah selanjutnya adalah menentukan properti material. Material yang digunakan adalah baja ASTM A36 seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 4.3. Langkah selanjutnya adalah analisis *boundary condition* pada struktur yang dimodelkan. *Boundary condition* pada struktur dijelaskan pada Gambar 4.5. Pada Gambar 4.5, daerah yang ditandai dengan warna biru (daerah E) merupakan tumpuan/*constraint* pada struktur *J-tube clamp*, sedangkan daerah yang ditandai dengan warna merah (daerah A, B, C, dan E) merupakan letak dari beban. *Clamp* yang mengikat *J-tube existing* diasumsikan sebagai tumpuan jepit/*fixed*, dimana struktur menahan gaya dan pergerakan arah vertical serta menahan rotasi. Diharapkan tidak terjadi rotasi dan defleksi, baik pada arah horizontal maupun pada arah vertical. Pembebanan pada struktur *clamp* berupa gaya sebesar 1550.9 N pada daerah A dan C serta 2969.9 N pada daerah B dan D. Angka tersebut didapat dari hasil ekivalensi gaya arah x, y, dan z dari hasil analisis global yang dapat dilihat pada Tabel 4.5. Gaya yang terdapat pada *clamp* diasumsikan terjadi secara merata pada seluruh permukaan *rolled plate*.



Gambar 4.5 *Boundary condition pada clamp*

4.3.2. Validasi Model

Validasi digunakan untuk membandingkan model yang dibuat oleh penulis dengan model yang didapatkan dari data *Material Take Off* dari perusahaan. Dari validasi tersebut model dapat dikatakan mewakili kondisi sebenarnya dari struktur tersebut. Validasi pemodelan dilakukan berdasarkan berat struktur. Struktur dikatakan valid apabila nilai koreksi tidak lebih dari 5% sehingga dapat mewakili struktur sesungguhnya (Sari, 2015).

Tabel 4. 9 Validasi Model

Berat Struktur (Kg)		Validasi
Data	Model	
205.758	202.01	1.82 %

Nilai koreksi didapat dari persentase selisih berat model dengan berat dari data. Berdasarkan Tabel 4.9 diperoleh koreksi berat struktur sebesar 1.82%, maka model dikatakan valid dan dapat digunakan pada analisis tahap selanjutnya.

4.3.3. Analisis Sensitivitas *Meshing*

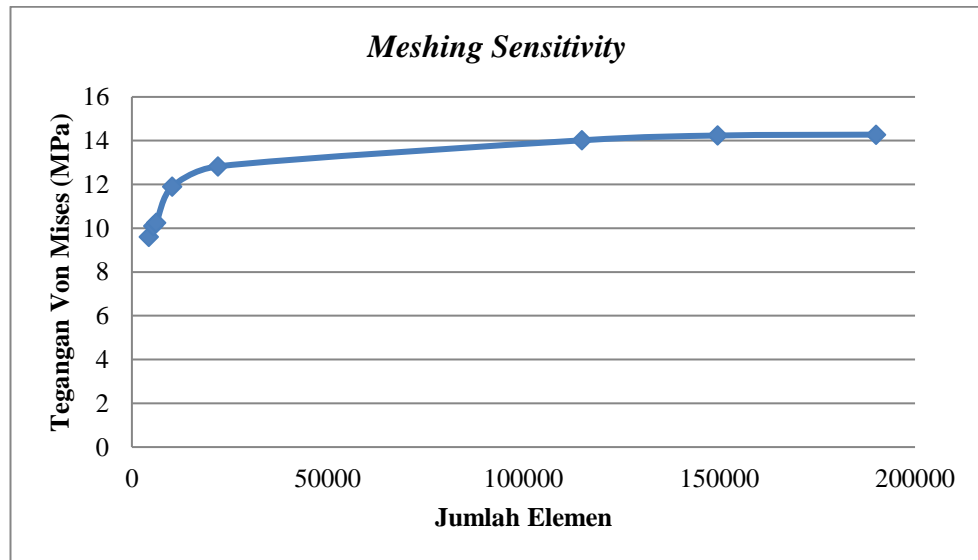
Meshing adalah pembagian model struktur menjadi elemen-elemen kecil sesuai dengan ukuran pembagi yang diinginkan. Analisis sensitivitas *meshing* diperlukan untuk mengetahui ukuran yang optimum atau konsistensi – keakuratan hasil dari jumlah elemen yang digunakan. Perubahan ukuran *meshing* dilakukan dengan metode iterasi hingga hasilnya menjadi konvergen pada ukuran tertentu atau tidak adanya perubahan yang signifikan dari hasil sebelumnya. Analisis *sensitivitas meshing* pada penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan memvariasikan kerapatan *meshing* yang dibandingkan dengan nilai tegangan *von Mises*.

Hasil dari *meshing sensitivity* disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui tingkat konsistensi *stress* yang dihasilkan dengan jumlah *meshing* yang berbeda. Tabel 4.10 merupakan hasil *meshing sensitivity* pada *J-tube Clamp* dimana kondisi tersebut memiliki jumlah elemen yang berbeda.

Tabel 4. 10 Tabulasi variasi meshing pada J-tube clamp

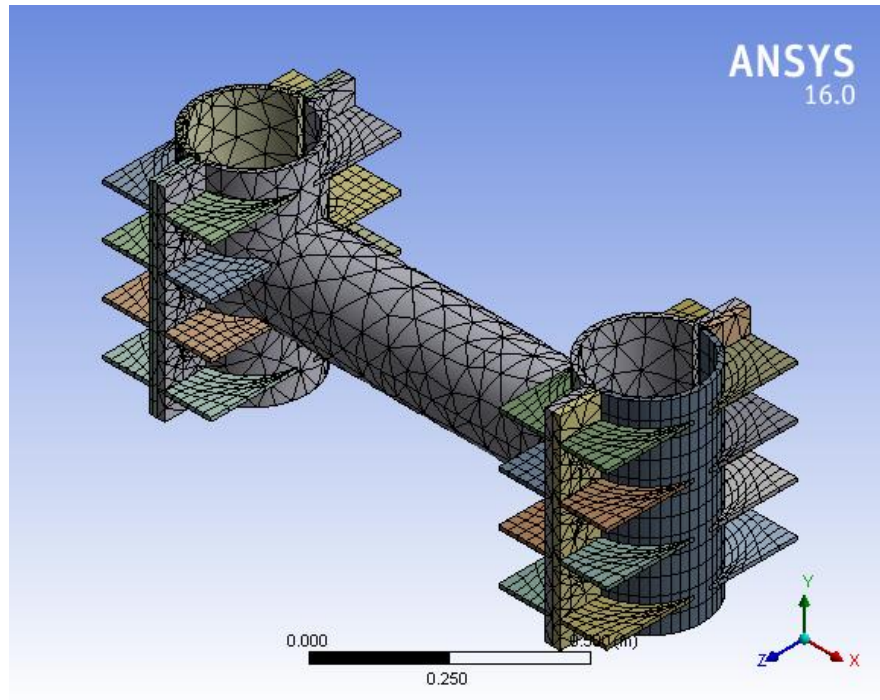
<i>Condition Sizing</i>	<i>Elements</i>	<i>Element Size (mm)</i>	<i>von Mises (MPa)</i>
1	4345	65	9.6
2	5452	50	10.1
3	6234	40	10.2
4	10266	30	11.9
5	22015	20	12.8
6	114893	10	14.0
7	149619	9	14.2
8	190070	8	14.3

Hasil analisis *sensitivitas meshing* pada Tabel 4.10 diubah kedalam bentuk grafik, seperti yang terlihat pada Gambar 4.6, untuk menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada setiap kondisi *meshing* sudah konstan.



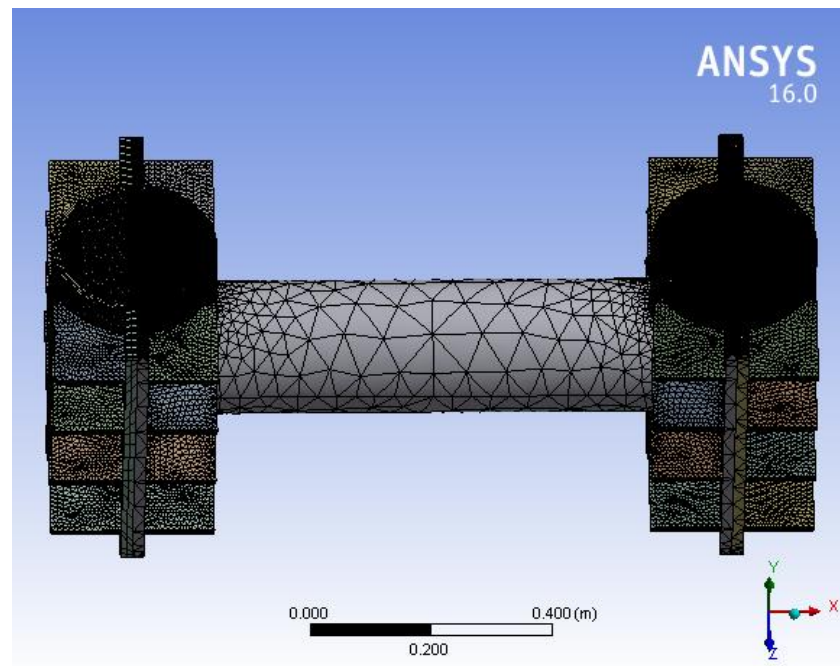
Gambar 4. 6 Grafik kerapatan meshing pada J-tube clamp

Analisis *meshing sensitivity* pada kondisi pertama dengan ukuran elemen sebesar 65 mm, menghasilkan elemen sebanyak 4345 dengan tegangan *von Mises* sebesar 9.6 MPa. Hasil *meshing* pada kondisi pertama ditunjukkan pada Gambar 4.7.

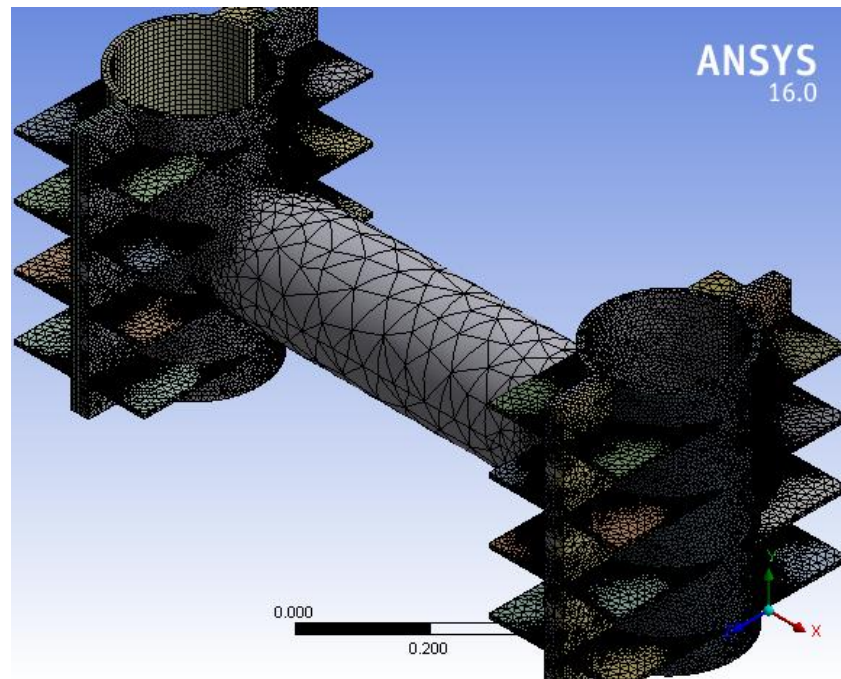


Gambar 4.7 Bentuk meshing kondisi pertama

Nilai tegangan *von Mises* pada *clamp* sudah mulai konstan pada *meshing* kondisi ke-enam dengan jumlah *element* sebanyak 114893 dan nilai tegangan sebesar 14.0 MPa, hingga *meshing* kondisi ke-delapan dengan jumlah *meshing* sebanyak 190070 dan nilai tegangan sebesar 14.3 MPa.

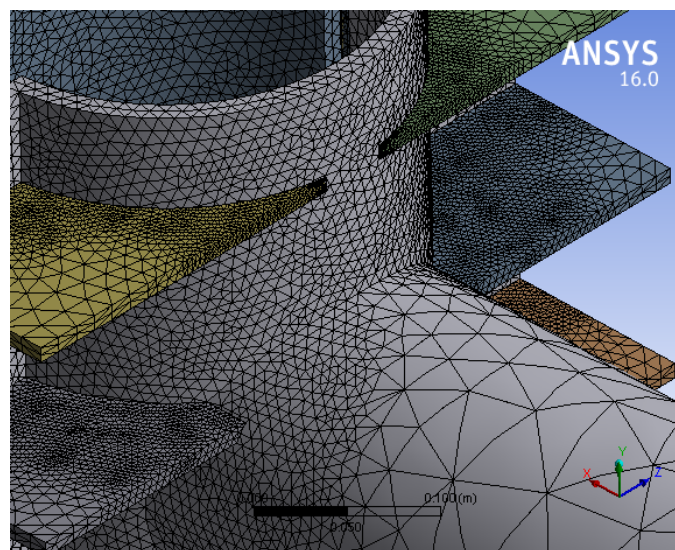


Gambar 4.8 Kontur *meshing* yang digunakan pada penelitian



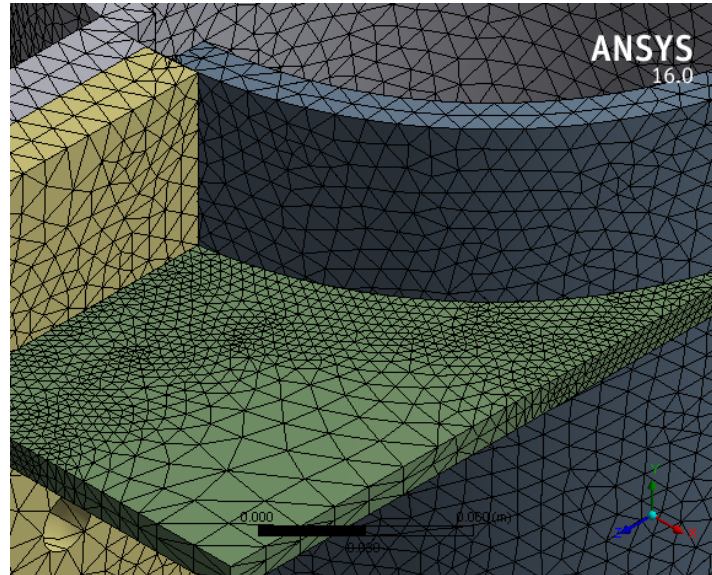
Gambar 4. 9 *Isometric view kontur meshing*

Nilai kerapatan *meshing* yang digunakan pada tahap penelitian selanjutnya dibedakan berdasarkan kebutuhan ketelitian pada geometri tertentu. Daerah yang terletak pada bagian las-lasan menggunakan kontur *meshing* kondisi pertama dengan ukuran 8 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.10. Daerah yang jauh dari las-lasan, yaitu bagian *stub*, menggunakan kontur *meshing* kondisi pertama dengan ukuran 65 mm seperti



Gambar 4. 10 *Detail meshing pada flange*

yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Hal tersebut dilakukan untuk mempersingkat waktu yang diperlukan dalam menganalisis struktur *clamp* namun tetap dengan hasil yang mendekati kenyataan. Bentuk dari kombinasi kerapatan *meshing* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.

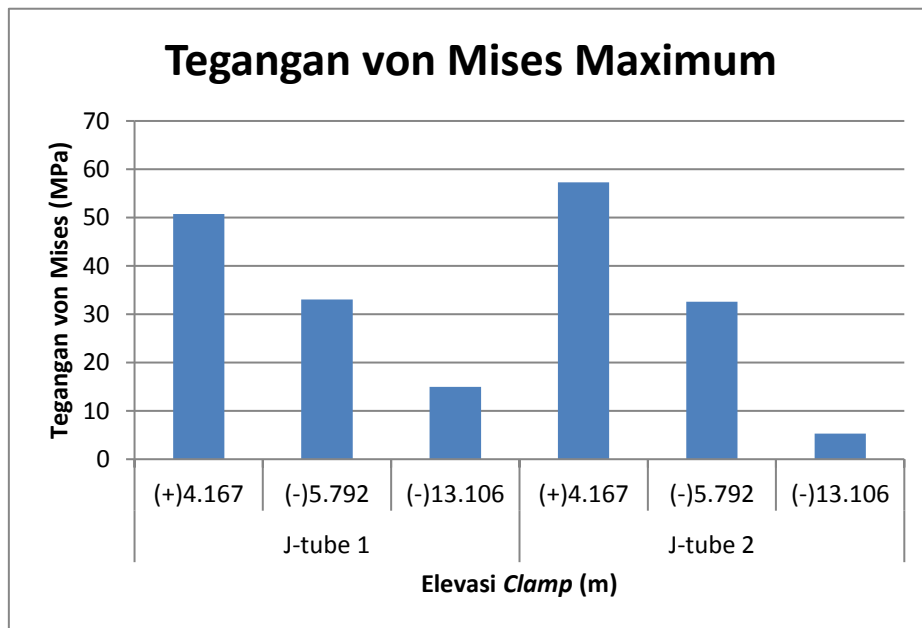


Gambar 4. 11 Detail meshing pada clamp

4.3.4. Analisis Tegangan *von Mises*

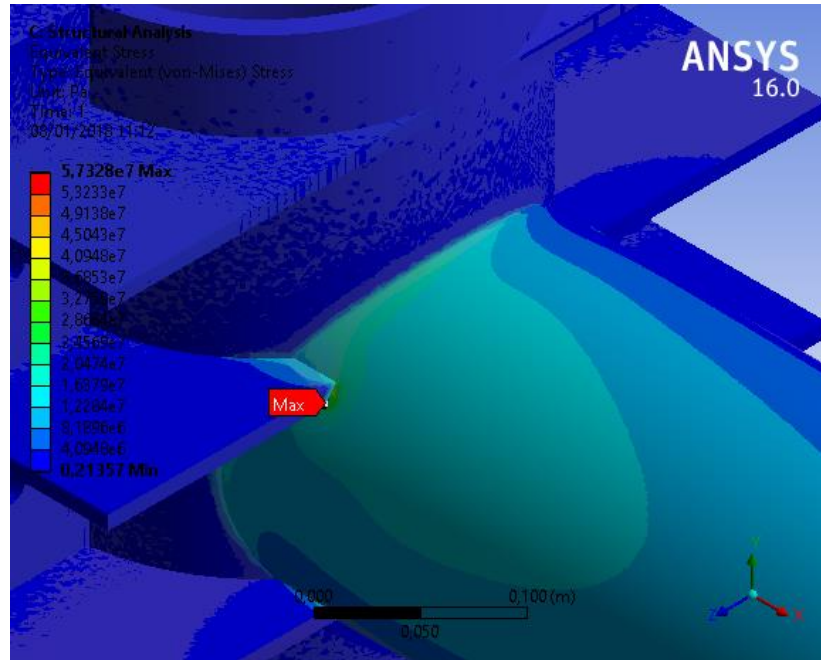
Tahap selanjutnya dalam pemodelan *Finite Element Method* (FEM) adalah melakukan *running* untuk mengetahui tegangan *von Mises* pada struktur *clamp* disetiap elevasi pada kedua *J-tube*. Tegangan *von Mises* merupakan tegangan yang mengkombinasikan tegangan-tegangan utama (normal dan geser) pada suatu elemen dan tidak memiliki arah. Dari hasil analisis inilah akan terlihat pada *clamp* mana tegangan maksimum terjadi, sehingga selanjutnya dapat dijadikan *input* pada analisis keandalan.

Analisis dilakukan dengan memodelkan struktur *clamp* yang kemudian diberikan beban berupa nilai *force* dari hasil analisis global yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan 4.5. *Clamp* yang mengikat *J-tube existing* dianggap sebagai *fixed support*. Gambar 4.12 merupakan perbandingan tegangan *von Mises* pada keenam buah *clamps*. Dapat diketahui bahwa tegangan *von Mises* terbesar terjadi pada *clamp* pada *J-tube 2* elevasi (+) 4.167 m.



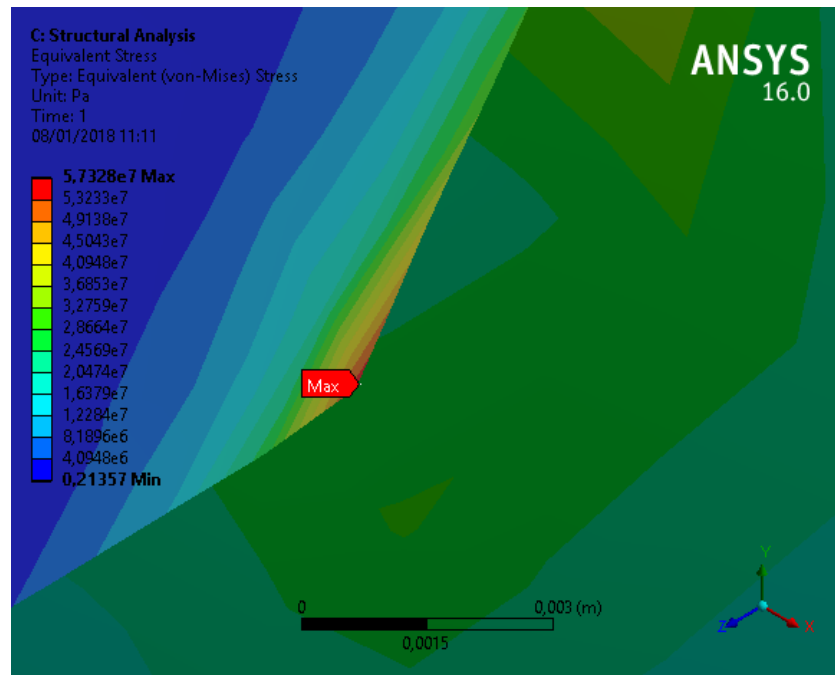
Gambar 4. 12 Hasil analisis tegangan von Mises pada J-tube clamp

Dapat diketahui dari hasil analisis tegangan bahwa tegangan *von Mises* maksimum sebesar 57.32 MPa terletak diantara *stub* dan *flange* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13. Tegangan *von Mises* terbesar lainnya,



Gambar 4. 13 Letak tegangan von Mises maximum

yaitu tegangan yang berkisar antara 57 MPa hingga 49.14 MPa, berada pada lokasi yang sama. Hal tersebut terlihat pada kontur tegangan *von Mises* pada Gambar 4.14. Tegangan *von Mises* terbesar terjadi pada *clamp* elevasi (+) 4.167 m sebesar 57.33 MPa. *Yield strength* material ASTM A36 berdasarkan *Steel Construction Manual* adalah sebesar 250 MPa, sehingga *clamp* dapat dikatakan aman untuk beroperasi.



Gambar 4. 14 Kontur tegangan *von Mises* maksimum

4.4. Analisa Keandalan dengan Metode *Advanced First Orde Second Moment*

4.4.1. Analisa Keandalan terhadap Tegangan *von Mises*

Dalam melakukan analisa keandalan perlu menetapkan ambang batas keselamatan terlebih dahulu. Ambang batas keselamatan atau *safety margin* yang akan ditinjau dapat disebut juga sebagai moda kegagalan. Pada penelitian tugas akhir ini ditinjau moda kegagalan kekuatan *yield* material *J-tube clamp* terhadap tegangan maksimum yang terjadi diantara keenam *clamp*, sehingga dipilih *clamp* J-tube kedua pada elevasi (+) 4.167 m. Moda kegagalan tersebut diformulasikan sebagai berikut:

$$MK = \sigma_{von Mises} \leq \sigma_y \quad (4.1)$$

$$MK = R - L = \sigma_y - \sigma_{von Mises} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned}
&= 250 - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)} \\
&= 250 - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{F_x}{A} - \frac{F_y}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_y}{A} - \frac{F_z}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A} - \frac{F_x}{A}\right)^2 + 6\left(\frac{F_x^2}{A} + \frac{F_y^2}{A} + \frac{F_z^2}{A}\right)} \\
&= 250 - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(F_x - F_y)^2 + (F_y - F_z)^2 + (F_z - F_x)^2 + 6(F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)}{A}} \\
&= 250 - \frac{1}{2} \left(\frac{(F_x - F_y)^2 + (F_y - F_z)^2 + (F_z - F_x)^2 + 6(F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)}{0.05} \right)^{0.5} \quad (4.3)
\end{aligned}$$

Untuk menghitung ketidakpastian pada struktur dengan metoda analisa keandalan perlu didefinisikan perubah dasar, dimana perubah dasar adalah kumpulan besaran yang menghasilkan tanggapan statis maupun dinamis dari suatu struktur. Variabel perubah dasar yang digunakan pada analisa keandalan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 11 Tabulasi variable perubah dasar

Variabel perubah dasar	Rata-rata	COV	Simpangan
R	250 MPa	-	-
F _x	2 kN	0.08	4.58 kN
F _y	1.8 kN	0.08	0.01 kN
F _z	1.2 kN	0.08	0.006 kN
A	0.05 m ²	-	-

Nilai rata-rata dari variable perubah dasar F_x, F_y, dan F_z didapat dari Tabel 4.5 untuk clamp elevasi (+) 4.167. Setelah menentukan moda kegagalan dan variable acak untuk mengetahui keandalan struktur, maka dilakukan iterasi hingga didapatkan nilai indeks keandalan yang konvergen (Haldar dan Mahadevan, 2000). Berdasarkan moda kegagalan pada persamaan 4.3, didapatkan persamaan β sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\beta &= \frac{249.9}{-0.387 Z_1^2 - 0.314 Z_2^2 - 0.122 Z_3^2 + 0.087 Z_1 Z_2 + 0.052 Z_2 Z_3 + 0.068 Z_1 Z_3 - 0.06 Z_1 + 0.004 Z_2 + 0.004 Z_3} \\
\alpha_1 &= - \frac{(-0.387 \beta + 0.087 \beta Z_2 + 0.068 \beta Z_3 - 0.06)}{K} \\
\alpha_2 &= \frac{-0.314 \beta + 0.087 Z_1 \beta + 0.052 \beta Z_3 + 0.004}{K} \\
\alpha_3 &= - \frac{(-0.122 \beta + 0.052 Z_2 \beta + 0.068 Z_1 \beta + 0.004)}{K}
\end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah iterasi nilai β hingga konvergen, dimana hasil iterasi indeks keandalan ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Hasil iterasi indeks keandalan

no	β	α_1	α_2	α_3
start	3	-0.45	0.45	-0.45
1	4.20	0.37	0.73	-0.59
2	4.08	0.21	0.55	-0.56
3	2.10	-0.01	0.41	-0.50
4	3.95	0.32	0.68	-0.57
275	4.25	0.42	0.76	-0.60
276	4.51	0.26	0.58	-0.58
277	3.38	0.26	0.59	-0.58
278	2.26	0.47	0.80	-0.61
279	2.41	0.33	0.63	-0.60
280	2.47	0.37	0.65	-0.61
281	2.43	0.20	0.55	-0.56
282	2.48	0.43	0.77	-0.60
283	2.42	0.29	0.60	-0.58

Nilai β pada iterasi ke-279 dan selanjutnya telah berada pada tahap konvergen, maka indeks keandalan *J-tube clamp* terhadap tegangan *von Mises* yang terjadi sebesar 2.4. Berdasarkan API RP 2A – *Load and Resistance Factor Design* indeks keandalan untuk sambungan adalah sebesar 2.5, sehingga dapat dikatakan struktur *J-tube clamp* belum memenuhi kriteria desain LRFD. Kemungkinan dari kondisi struktur *W platform* yang sudah lama beroperasi dan menurunnya integritas *J-tube existing* sebagai penyebab indeks keandalan *J-tube clamp* tidak memenuhi ketentuan API RP 2A cukup besar.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian tugas akhir ini:

1. Hasil dari analisis lokal tegangan *von Mises* pada J-tube 1 untuk *clamp* dengan elevasi (+) 4.178 m sebesar 50.73 MPa, J-tube *clamp* dengan elevasi (-) 5.792 m sebesar 33.07 MPa, dan J-tube *clamp* dengan elevasi (-) 13.106 m sebesar 14.97 MPa.
2. Hasil dari analisis lokal tegangan *von Mises* pada J-tube 1 untuk *clamp* dengan elevasi (+) 4.178 m sebesar 57.33 MPa, J-tube *clamp* dengan elevasi (-) 5.792 m sebesar 32.61 MPa, dan J-tube *clamp* dengan elevasi (-) 13.106 m sebesar 5.32 MPa.
3. Indeks keandalan J-tube *clamp* terhadap tegangan *von Mises* yang terjadi sebesar 2.42. Berdasarkan API RP 2A – *Load and Resistance Factor Design* indeks keandalan untuk sambungan adalah sebesar 2.5, sehingga dapat dikatakan struktur J-tube *clamp* belum memenuhi kriteria desain LRFD.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pemodelan struktur J-tube *existing* dan *brace* agar analisa yang dilakukan hampir mendekati keadaan nyata.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menganalisa keandalan struktur J-tube *clamp* dengan moda kegagalan yang lain.
3. Penelitian selanjutnya dapat menganalisa keandalan struktur J-tube *clamp* dengan metode lain.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. 1989. *“Manual of Steel Construction – Allowable Stress Design 9th Edition”*.
- American Petroleum Institute, API RP 2A (21st Edition), 2005. *“Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Load and Resistance Factor Design”*.
- Bai, Yong. 2003. *“Marine Structural Design”*. Oxford: Elsevier Science, Ltd.
- Barltrop, N.D.P dan A. J. Adams. *“Dynamics of Fixed Marine Structures 3rd edition”*. Oxford: Butterworth Heinemann Ltd.
- Barringer, Paul. 1997. *“Availability, Reliability, Maintainability, and Capability”*. Texas: Barringer and Associates, Inc.
- Beer, Ferdinand. 2012. *“Mechanics of Materials”*. New York: McGraw-Hill.
- Det Norske Veritas. 2015. *“Design of Offshore Steel Structures, general – LRFD Method”*. DNV OS-C101. Oslo Norway: DNV.
- Djarmiko, E. B. 2003. *“Seakeeping: Perilaku Bangunan Apung di atas Gelombang”*. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Geschwindner, Louis F. 1994. *“J-tube Pull-In of Rigid Risers”*, KTH Engineering Science KTH University, Sweden.
- Kusuma, Andri. 2006. *“Analisa Kekuatan Ultimate Jacket Platform Dengan Pendekatan Plastic Hinged Berbasis Keandalan”*, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Lestari, Dwi dan Nabila Annisa. *“Analisa In-place Wellhead Platform Akibat Penambahan Subsea Cables”*, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Logan, D.L. 1986. *“A First Course in the Finite Element Methode”*, PWS Kent Publishing.

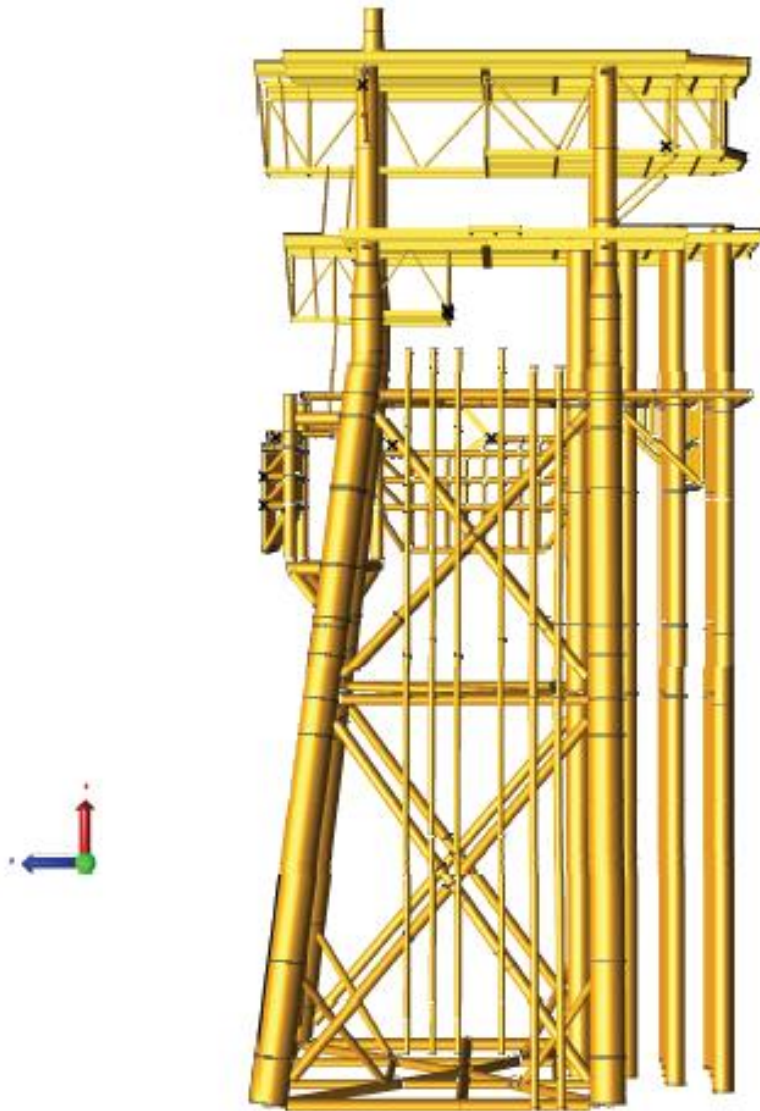
- Madenci, Erdogan. 2006. *"The Finite Element Method And Applications in Engineering in Using ANSYS"*, New York: Springer Science, LLC.
- Murdjito, 2003. *"Konsep Perancangan Struktur Offshore"*. Surabaya: ITS.
- Popov, E.P. 1984. *"Mechanics of Materials"*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Rosyid, Daniel M. 2007. *"Pengantar Rekayasa Keandalan"*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Radiansah, Angga Fajar. 2008. *"Analisa Tegangan Riser Clamps Pada Struktur Jacket ZUA"*, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Sari, Bunga. 2015. *"Analisa Kekuatan Ultimate Berbasis Resiko pada Struktur Jacket Wellhead Tripod Platform Akibat Terjadinya Scouring"*, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Setiawan, Agus. 2008. *"Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD"*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Techet, Alex. 2005. *"Introduction to Fluid Mechanics 6th edition"*. Massachusetts Institute of Technology, Missouri.
- Veriyanto, Hartono Yudo, dan Berlian Arswendo. 2016. *"Analisa Kekuatan Konstruksi Jacket Platform Terhadap Beban Gravitasi Dan Interferensi Lingkungan Di Perairan Madura Menggunakan FEM"*. Jurnal Teknik Perkapalan – Vol. 4, No. 3 Juli 2016.

LAMPIRAN A

OUTPUT ANALISIS GLOBAL STRUKTUR W

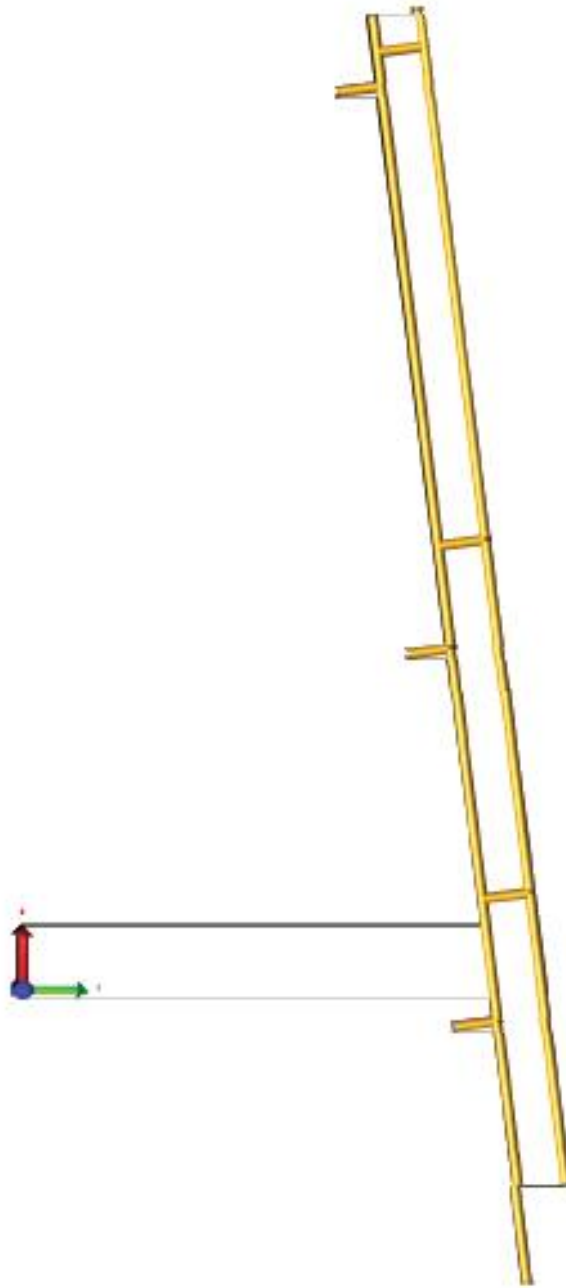
PLATFORM

Active Structure



Gambar Lampiran A.1 Model W *Platform* pada Analisis Global

Plan at X=6.459



Gambar Lampiran A.1 Model *J-tube* pada Analisis Global

JOINTS REACTION FORCES AND MOMENTS REPORT

JOINT	LOAD COND	***** FORCE (X)	hips FORCE (Y)	***** FORCE (Z)	***** MOMENT (X)	in-hips MOMENT (Y)	***** MOMENT (Z)
0005	100Y	0.033	0.004	0.000	2.734	0.000	0.000
0029	100Y	0.002	-0.071	0.571	0.000	0.000	0.000
0046	100Y	0.002	-0.045	0.357	0.000	0.000	0.000
0048	100Y	0.896	0.524	-0.490	0.000	0.000	0.000
0053	100Y	0.599	0.288	-0.175	0.000	0.000	0.000
0057	100Y	0.053	0.011	0.000	0.782	0.000	0.000
0059	100Y	0.002	0.007	-0.058	0.000	0.000	0.000
0068	100Y	0.097	0.067	0.168	0.000	0.000	0.000
0070	100Y	0.049	0.014	0.000	0.542	0.000	0.000
0071	100Y	0.004	-0.066	0.000	6.656	0.000	0.000
0072	100Y	0.065	0.000	0.000	0.000	2.594	0.325
0073	100Y	0.001	-0.082	0.653	0.000	0.000	0.000
0075	100Y	0.001	-0.044	0.354	0.000	0.000	0.000
0077	100Y	0.630	0.571	-0.571	0.000	0.000	0.000
0078	100Y	0.380	0.297	-0.174	0.000	0.000	0.000
0079	100Y	0.001	0.008	-0.064	0.000	0.000	0.000
0080	100Y	0.067	0.077	0.174	0.000	0.000	0.000
0081	100Y	0.041	0.000	0.000	0.000	1.614	0.202
0088	100Y	0.000	0.044	-0.352	0.000	0.000	0.000
0091	100Y	0.000	-0.044	0.352	0.000	0.000	0.000
0093	100Y	0.539	0.408	0.408	0.000	0.000	0.000
0094	100Y	0.680	0.298	-0.172	0.000	0.000	0.000
0095	100Y	0.000	0.013	-0.104	0.000	0.000	0.000
0096	100Y	-0.003	0.070	0.229	0.000	0.000	0.000
0097	100Y	0.082	0.000	0.000	0.000	4.544	0.568
0099	100Y	0.000	0.043	-0.346	0.000	0.000	0.000

0101	100Y	0.002	-0.044	0.355	0.000	0.000	0.000
0103	100Y	0.277	0.451	0.407	0.000	0.000	0.000
0104	100Y	0.341	0.311	-0.175	0.000	0.000	0.000
0105	100Y	0.009	0.079	0.239	0.000	0.000	0.000
0106	100Y	0.001	0.014	-0.114	0.000	0.000	0.000
0107	100Y	0.040	0.000	0.000	0.000	2.190	0.274
1001	100Y	-5.723	0.635	37.049	-54.519	35.894	-13.431
1002	100Y	-5.951	-0.160	21.320	-20.834	-25.616	-30.029
1003	100Y	-2.218	4.229	33.893	-59.875	97.600	-4.572
1004	100Y	-4.012	-0.222	17.562	-0.678	25.175	8.590
1301	100Y	1.307	0.428	0.000	-101.491	300.550	-3.600
1302	100Y	0.272	0.265	0.000	-47.370	41.088	-2.905
1303	100Y	1.309	-0.398	0.000	80.814	302.178	-3.809
1304	100Y	0.279	-0.164	0.000	7.913	44.321	-5.552
1305	100Y	1.202	0.259	0.000	-60.225	261.807	-2.479
1306	100Y	1.730	1.094	0.000	-232.358	360.214	-2.011
1307	100Y	1.203	-0.245	0.000	48.725	262.850	-1.341
1308	100Y	1.700	-1.088	0.000	224.268	351.287	-2.795
1309	100Y	2.335	0.369	0.000	-80.907	481.006	-2.107
1310	100Y	2.336	-0.365	0.000	72.479	482.088	-2.100
1311	100Y	2.314	-1.086	0.000	228.986	490.887	-1.891
1312	100Y	2.311	1.091	0.000	-237.387	487.944	-2.492
1401	100Y	0.010	-0.023	0.000	0.000	0.000	0.478
1402	100Y	0.007	-0.025	0.000	0.000	0.000	0.660
9152	100Y	8.584	3.709	18.459	-72.777	30.337	7.925

LAMPIRAN B

KEANDALAN DENGAN METODE AFOSM

LAMPIRAN B

KEANDALAN DENGAN AFOSM

Berdasarkan API RP 2A – LRFD struktur dianggap aman jika:

$$L \leq R$$

dimana R adalah *resistance*/tahanan dalam hal ini adalah tegangan *yield* struktur dan L adalah *load*/beban yang terjadi pada struktur, sehingga

$$\sigma_{von\ Mises} \leq \sigma_{yield}$$

Data:

Variabel perubah dasar	Rata-rata	COV	Simpangan
R	250 MPa	-	-
F _x	2 kN	0.08	4.58 kN
F _y	1.8 kN	0.08	0.01 kN
F _z	1.2 kN	0.08	0.006 kN
A	0.05 m ²	-	-

Maka,

$$MK = R - L = \sigma_{yield} - \sigma_{von\ Mises}$$

$$MK = (250) - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)}$$

$$MK = (250) - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{F_x}{A} - \frac{F_y}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_y}{A} - \frac{F_z}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A} - \frac{F_x}{A}\right)^2 + 6\left(\frac{F_x^2}{A^2} + \frac{F_y^2}{A^2} + \frac{F_z^2}{A^2}\right)}$$

$$MK = (250) \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(F_x - F_y)^2 + (F_y - F_z)^2 + (F_z - F_x)^2 + 6(F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)}{A}}$$

$$MK = (250) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{(F_x - F_y)^2 + (F_y - F_z)^2 + (F_z - F_x)^2 + 6(F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)}{0.05} \right)^{0.5}$$

Variabel perubah baku:

$$Z1 = (F_x - \mu F_x) / \sigma F_x$$

$$Z2 = (F_y - \mu F_y) / \sigma F_y$$

$$Z3 = (F_z - \mu F_z) / \sigma F_z$$

Dimana,

$$F_x = Z1 * \sigma F_x + \mu F_x$$

$$F_y = Z2 * \sigma F_y + \mu F_y$$

$$F_z = Z3 * \sigma F_z + \mu F_z$$

Mentransformasikan perubah dasar tersebut menjadi perubah acak baku (Zi).

$$MK = (250) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{(F_x - F_y)^2 + (F_y - F_z)^2 + (F_z - F_x)^2 + 6(F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)}{0.05} \right)^{0.5}$$

$$MK = (250) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{((Z2 * \sigma F_x + \mu F_x) - (Z3 * \sigma F_y + \mu F_y))^2 + ((Z3 * \sigma F_y + \mu F_y) - (Z4 * \sigma F_z + \mu F_z))^2 + ((Z4 * \sigma F_z + \mu F_z) - Z2 * \sigma F_x + \mu F_x)^2 + 6((Z2 * \sigma F_x + \mu F_x)^2 + (Z3 * \sigma F_y + \mu F_y)^2 + (Z4 * \sigma F_z + \mu F_z)^2)}{0.05} \right)^{0.5}$$

$$MK = (250) - \left(0.0121 \left((Z1 * \sigma_{Fx} + \mu_{Fx}) - (Z2 * \sigma_{Fy} + \mu_{Fy}) \right)^2 + \left((Z2 * \sigma_{Fy} + \mu_{Fy}) - (Z3 * \sigma_{Fz} + \mu_{Fz}) \right)^2 + \left((F_z - Z3 * \sigma_{Fx} + \mu_{Fx}) - (Z1 * \sigma_{Fx} + \mu_{Fx}) \right)^2 + 6 \left((Z1 * \sigma_{Fx} + \mu_{Fx})^2 + (Z2 * \sigma_{Fy} + \mu_{Fy})^2 + (Z3 * \sigma_{Fz} + \mu_{Fz})^2 \right)^{0.5} \right)$$

$$MK = (250) - \left(0.0121 \left((Z1 * 2 + 0.16) - (Z2 * 1.8 + 0.01) \right)^2 + \left((Z2 * 1.8 + 0.01) - (Z3 * 1.2 + 0.006) \right)^2 + \left((Z3 * 1.2 + 0.006) - (Z1 * 2 + 0.16) \right)^2 + 6 \left((Z1 * 2 + 0.16)^2 + (Z2 * 1.8 + 0.01)^2 + (Z3 * 1.2 + 0.006)^2 \right)^{0.5} \right)$$

$$MK = (250) - 0.0121 (8 Z1^2 + 6.48 Z2^2 + 1.44 Z3^2 - 7.2 Z1Z2 - 4.32 Z2Z3 - 4.8 Z2Z4 + 1.22 Z1 - 0.526 Z2 - 0.37 Z3 + 0.0465) + (24 Z1^2 + 19.44 Z2^2 + 8.64 Z3^2 + 3.84 Z1 + 0.22 Z2 + 0.084 Z3 + 0.16)$$

$$MK = (250) - 0.012 (32 Z1^2 + 25.92 Z2^2 + 10.08 Z3^2 - 7.2 Z1Z2 - 4.32 Z2Z3 - 4.8 Z1Z3 + 5.06 Z1 - 0.31 Z2 - 0.29 Z3 + 0.21)$$

$$MK = (250) - (0.387 Z1^2 + 0.314 Z2^2 + 0.122 Z3^2 - 0.087 Z1Z2 - 0.052 Z2Z3 - 0.068 Z1Z3 + 0.06 Z1 - 0.004 Z2 - 0.004 Z3 + 0.0015)$$

$$MK = -0.387 Z1^2 - 0.314 Z2^2 - 0.122 Z3^2 + 0.087 Z1Z2 + 0.052 Z2Z3 + 0.068 Z1Z3 - 0.06 Z1 + 0.004 Z2 + 0.004 Z3 + 249.9)$$

Dari persamaan diatas didapatkan nilai,

$$\beta = \frac{249.9}{-0.387 Z1^2 - 0.314 Z2^2 - 0.122 Z3^2 + 0.087 Z1Z2 + 0.052 Z2Z3 + 0.068 Z1Z3 - 0.06 Z1 + 0.004 Z2 + 0.004 Z3}$$

$$\alpha_1 = - \frac{(-0.387 \beta + 0.087 \beta Z_2 + 0.068 \beta Z_3 - 0.06)}{K}$$

$$\alpha_2 = \frac{-0.314 \beta + 0.087 Z_1 \beta + 0.052 \beta Z_3 + 0.004}{K}$$

$$\alpha_3 = - \frac{(-0.122 \beta + 0.052 Z_2 \beta + 0.068 Z_1 \beta + 0.004)}{K}$$

Persamaan diatas diiterasikan dengan mengasumsikan nilai awal $\beta = 3$

no	β	α_1	α_2	α_3
start	3	-0.45	0.45	-0.45
1	4.20	0.37	0.73	-0.59
2	4.08	0.21	0.55	-0.56
3	2.10	-0.01	0.41	-0.50
4	3.95	0.32	0.68	-0.57
275	4.25	0.42	0.76	-0.60
276	4.51	0.26	0.58	-0.58
277	3.38	0.26	0.59	-0.58
278	2.26	0.47	0.80	-0.61
279	2.41	0.33	0.63	-0.60
280	2.47	0.37	0.65	-0.61
281	2.43	0.20	0.55	-0.56
282	2.48	0.43	0.77	-0.60
283	2.42	0.29	0.60	-0.58

Pada iterasi ke 279 nilai β mulai konvergen, sehingga diperoleh nilai $\beta = 2.41$.

BIODATA PENULIS



Dwi Lestari dilahirkan di Bogor pada tanggal 18 Nopember 1997, merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan pendidikan dasar di SDN Cibinong 5 pada tahun 2003-2009. Kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Cibinong, tahun 2009-2012 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Bogor pada tahun 2012-2014. Lulus

dari SMA, penulis melanjutkan kuliah jenjang S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan pada tahun 2013-2017. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan kampus salah satunya Unit Kegiatan Mahasiswa Kesenian Tradisional dan Tari serta Basket. Pada tahun 2017 penulis berkesempatan untuk melakukan kerja praktek di PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore departemen Project.

Kontak Penulis:

Email : dwilestari18@hotmail.com

Telepon : +6281218004490